Ir. Indra Sinaga, M. Surv. Sc.

PENGUKURAN DAN PEMETAAN PEKERJAAN KONSTRUKSI

Kata Pengantar oleh Prof. Dr. Ir. R. Roosseno

AKAAN
TIMUR
9
1

PENGUKURAN DAN PEMETAAN PEKERJAAN KONSTRUKSI

Ir. Indra Sinaga, M. Surv. Sc.

Kata Pengantar oleh
Prof. Dr. Ir. R. Roosseno

PUSTAKA SINAR HARAPAN
Jakarta, 1997

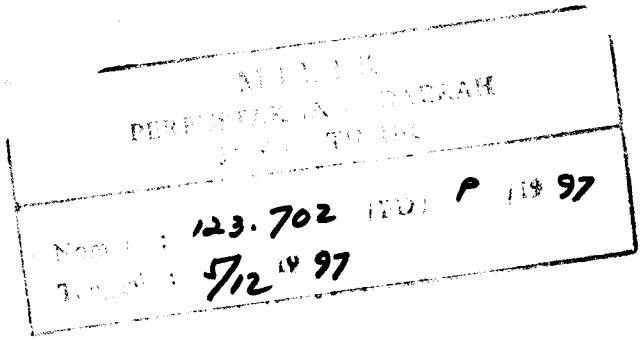
Perpustakaan Nasional: *Katalog Dalam Terbitan (KDT)*

Sinaga, Indra
Pengukuran dan pemetaan pekerjaan konstruksi / Indra Sinaga : gambar, Indra Sinaga. – Cet. 1. – Jakarta : Pustaka Sinar Harapan, 1992.
304 hlm. : ilus ; 21 cm.

Bibliografi.
ISBN 979-416-196-9

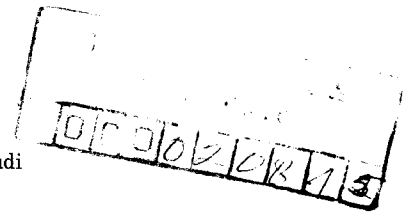
1. Konstruksi, Pengukuran. I. Judul

720.2



PENGUKURAN DAN PEMETAAN
PEKERJAAN KONSTRUKSI

Ir. Indra Sinaga, M. Surv. Sc.



92/ARS/06

Desain sampul : Ibnoe Wahyudi
Gambar : Indra Sinaga

Hak Cipta dilindungi Undang-undang
Pustaka Sinar Harapan, anggota Ikapi
Jakarta

Cetakan pertama, 1992
Cetakan kedua, 1994
Cetakan ketiga, 1997
Dicetak oleh **CV Muliasari**

ISI DI LUAR TANGGUNG JAWAB PERCETAKAN

untuk mereka yang terkasih, isteriku,
alde,
joshua, dan
astrid

DAFTAR ISI

Kata Pengantar 11
Prakata 13

BAGIAN PERTAMA : DASAR-DASAR PEMETAAN
TUJUAN INSTRUKSIONAL UMUM/KHUSUS 15

BAB I. PENDAHULUAN 17
1.1. Sejarah Pengukuran Tanah 17
1.2. Bentuk Muka Bumi 21
1.3. Rangkuman 1 23
1.4. Latihan 1 25

BAB II. RUANG LINGKUP PEMETAAN 27
2.1. Pengambilan Data 27
PERALATAN UKUR, JURU UKUR, CUACA DAN KEADAAN ALAM
2.2. Pengolahan Data 34
REDUKSI UKURAN, PROSES HITUNGAN DAN ANALISA HASIL
2.3. Penyajian Data 42
PROYEKSI PETA, SKALA PETA DAN SIMBOL PETA
2.4. Rangkuman 2 49
2.5. Latihan 2 51

BAB III. DASAR-DASAR PENGUKURAN TANAH 55
3.1 Pengertian dan Notasi 55
TITIK, JARAK, LUAS, SUDUT, SISTEM KOORDINAT, BEDA TINGGI, SKALA PETA
3.2. Dasar Hitungan Koordinat 60
3.3. Rangkuman 3 63
3.4. Latihan 3 65

BAB IV. KONSEP DASAR PEMETAAN 69
4.1. Kerangka Dasar Pemetaan 69
KERANGKA HORIZONTAL, KERANGKA VERTIKAL

4.2. Pengambilan Titik Detail 76
4.3. Penggambaran 76
4.4. Rangkuman 4 77
4.5. Latihan 4 79

BAGIAN KEDUA : TEKNIK PENGUKURAN TANAH 81
TUJUAN INSTRUKSIONAL UMUM/KHUSUS 81

BAB V. PENGUKURAN JARAK 83
5.1. Pendahuluan 83
5.2. Peralatan Ukur Jarak 85
5.3. Pengukuran Jarak 86
GARIS LURUS TANPA RINTANGAN, TITIK ACUAN TAK SALING LIHAT, GARIS DENGAN RINTANGAN DAN EDM
5.4. Kesalahan Pengukuran Jarak 94
KESALAHAN UKUR, KONSTAN, DAN MANUSIA
5.5. Rangkuman 5. 100
5.6. Latihan 5. 101

BAB VI. PENGUKURAN BEDA TINGGI SIPAT DATAR . 102
6.1. Pendahuluan 102
6.2. Peralatan Ukur Sipat Datar 104
6.3. Pengukuran Sipat Datar 110
PENGUKURAN SIPAT DATAR MEMANJANG, RESIPROKAL, SIPAT DATAR LUAS, dan SIPAT DATAR PROFIL
6.4. Kesalahan Pengukuran 135
JENIS KESALAHAN PENGUKURAN, PENGATURAN ALAT, KELENGKUNGAN BUMI DAN REFRAKSI
6.5. Rangkuman 6 147
6.6. Latihan 6 148

BAB VII. PENGUKURAN SUDUT 151
7.1. Pendahuluan 151
7.2. Peralatan Ukur Sudut 153
7.3. Pengukuran Sudut 161
MASALAH JARAK, SUDUT ANTARA SISI, PENGUKURAN SUDUT VERTIKAL, PENGUKURAN AZIMUT PENGUKURAN DAN HITUNGAN POLIGON, PENGUKURAN DAN HITUNGAN PENGIKATAN
7.4. Kesalahan Pengukuran 180
KESALAHAN ALAT, PENGUKUR, DAN ALAM
7.5. Rangkuman 7 184
7.6. Latihan 7 185

BAGIAN KETIGA: PEMETAAN 189
TUJUAN INSTRUKSIONAL UMUM/KHUSUS 189

BAB VIII. PEMETAAN LINIER 191
8.1. Pendahuluan 191
8.2. Pengambilan Data 192
PENYULUHAN, PERSIAPAN PERALATAN PENCATATAN DATA UKUR
8.3. Pengolahan Data. 195
PENGOLAHAN DATA MENTAH, PENGOLAHAN DATA
8.4. Penyajian Data 196
SKETSA KASAR, PENGGAMBARAN KERANGKA DASAR, PENGGAMBARAN DETAIL
8.5. Rangkuman 8 198
8.6. Latihan 8 199

BAB IX. PEMETAAN SITUASI DAN DETAIL 201
9.1. Pendahuluan 202
9.2. Pengambilan Data 202
PENYULUHAN, PERSIAPAN PERALATAN, PENCATATAN DATA UKUR
9.3. Pengolahan Data 206
PENGOLAHAN DATA MENTAH, PENGOLAHAN DATA
9.4. Penyajian Data 208
SKETSA KASAR, PENGGAMBARAN KERANGKA DASAR, PENGGAMBARAN DETAIL
9.5. Rangkuman 9 214
9.6. Latihan 9 216

BAGIAN KEEMPAT: APPLIKASI PENGUKURAN DAN PEMETAAN 217
TUJUAN INSTRUKSIONAL UMUM/KHUSUS 217

BAB X. LUAS DAN ISI 219
10.1. Pendahuluan 219
10.2. Perhitungan Luas 220

CARA LANGSUNG, PERHITUNGAN LUAS DARI RENCANA
10.3. Perhitungan Isi 241
GALIAN DAN TIMBUNAN, VOLUME PEKERJAAN BESAR
10.4. Rangkuman 10 251
10.5. Latihan 10 252

BAB XI. PEMETAAN LENGKUNGAN 255
11.1. Pendahuluan 255
11.2. Desain Lengkungan 262
LENGKUNGAN HORIZONTAL, LENGKUNGAN VERTIKAL
11.3. Rangkuman 11 265
11.4. Latihan 11 266

BAB XII. PEMATOKAN 268
12.1. Pendahuluan 268
12.2. Pematokan Jalur Lurus 269
PEMATOKAN SUATU TITIK DI LAPANGAN, PEMATOKAN SUMBU RENCANA JALAN, PEMBUATAN GARIS SINGGUNG
12.3. Pematokan Lengkungan 273
PEMATOKAN SUATU TITIK DI LAPANGAN, PEMATOKAN SUMBU RENCANA JALAN, PEMBUATAN GARIS SINGGUNG
12.4. Lengkungan Bersyarat 284
RINTANGAN PADA TITIK POTONG, LENGKUNGAN SINGGUNG PADA TIGA PELURUS, LENGKUNGAN MELALUI TIGA TITIK.
12.5. Pematokan Lengkungan Vertikal 290
12.6. Rangkuman 12 294
12.7. Latihan 12 296

KEPUSTAKAAN 298
INDEKS 301

KATA PENGANTAR

"Pekerjaan konstruksi" sangat erat hubungannya dengan kemampuan membuat dan memakai peta yang dimiliki oleh para perencana dan pelaksana pembangunan. Dengan hasil pengukuran dan pemetaan yang baik dapat diharapkan hasil perencanaan yang baik pula.

Dengan diterbitkannya buku teks yang berjudul "Pengukuran dan Pemetaan Pekerjaan Konstruksi" yang ditulis oleh Saudara Ir. Indra Sinaga, M. Surv. Sc. ini, saya menyambutnya dengan baik dan penuh gembira. Peranan perguruan tinggi memerlukan keikutsertaan para tenaga akademis secara aktif. Hal ini dilakukannya bukan hanya melulu sebagai pengajar saja, namun juga berperan sebagai penyedia sarana pustaka yang bermutu. Buku ini menyoroti sisi lain dari usaha pengukuran dan pemetaan. Umumnya buku teks mengenai topik ini menitikberatkan pembahasannya terhadap "bagaimana membuat peta". Tentu buku tersebut sangat berguna untuk para pembuat peta *(surveyor)*, namun buku teks ini membahas pemetaan dari sudut pemakaiannya. Sehingga akan sangat bermanfaat apabila dibaca oleh para pemakai peta seperti para perancang dan perencana pembangunan.

Pada umumnya para mahasiswa Indonesia kurang menguasai bahasa asing, oleh karenanya sedikit dari mereka yang dapat belajar dari buku-buku tersebut. Dengan tersedianya buku teks dalam bahasa Indonesia, maka para mahasiswa tentu akan sangat tertolong dalam mempelajari pengetahuan yang bersangkutan. Saya yakin usaha memperkaya kepustakaan Indonesia dengan buku "Pengukuran dan Pemetaan Pekerjaan Konstruksi" ini adalah usaha yang positif, bukan hanya dalam dunia pendidikan tetapi juga di dalam pembangunan secara umum.

Prof. Dr. Ir. R. Roosseno

PRAKATA

Sejak beberapa tahun yang lalu penulis bertugas mengasuh mata kuliah ilmu ukur tanah sebagai mata kuliah penunjang, yaitu pada jurusan non geodesi. Penulis menemui betapa terbaliknya konsep pengajaran yang diterapkan kepada mahasiswa tersebut. Mereka diperlakukan sebagai mahasiswa jurusan geodesi, yaitu menjadi calon ahli pembuat peta, bukan calon ahli pemakai peta. Padahal mereka sesungguhnya adalah calon perencana dan perancang yang memakai peta. Mereka tidak memerlukan kemampuan analisis dan sintesis serta mendalami "bagaimananya" ilmu ukur tanah tersebut. Kedua tujuan ini jelas berbeda, namun umumnya para pengajar mata kuliah tersebut adalah para sarjana geodesi, maka tanpa disadari pengajaran yang diberikan terpaksa terbawa arus "pembuat peta". Di lain fihak sulit ditemukan buku teks yang memenuhi tuntutan "pemakai peta" tersebut. Satu-satunya buku bahasa asing yang juga sulit ditemukan di pasar adalah "Surveying for Construction" karangan W. Irvine. Hal inilah yang mendorong penulis untuk mempersiapkan buku ini agar tersedia buku teks dalam bahasa Indonesia dengan notasi dan definisi yang umumnya dipakai bersama selama ini.

Buku ini ditulis dengan gaya ilmu pendidikan, yaitu melalui pendekatan sistem, serta setiap bahasan dilengkapi dengan latihan. Untuk maksud tersebut uraiannya terbagi dalam empat bagian yaitu Dasar-dasar Pemetaan yang merupakan "das Sein" yang diperlukan untuk dapat memasuki bahasan selanjutnya. Bagian kedua menguraikan unsur dan teknik pengukuran tanah yang bertindak sebagai "how" dalam penyelesaian masalah pemetaan. Uraian juga langsung diikuti oleh bahasan yang merupakan "das Sollen" pengukuran dan pemetaan tanah pada bagian ketiga dengan judul Pemetaan. Sebuah bagian yang merupakan "goal" dari buku ini adalah bagian utilitas dalam pembangunan dengan judul "Aplikasi Pengukuran dan Pemetaan".

Pada kesempatan ini penulis mengucapkan terimakasih kepada semua rekan-rekan assisten di Lab. Ukur Tanah Institut Sains dan

Teknologi Nasional. Mereka adalah Saudara-saudara Heryanto, Heri Wigrata, Maringan Panggabean, Budiyakto, Zulfiarman, Martuando dan Erling. Demikian pula semua teman-teman yang selalu dengan setia memberikan komentar dan bantuannya seperti Harry Hartawan, Faisal Manaf, Erwin Slamet, Wayan Swastika. Demikian pula dengan tulus terima kasih ini penulis sampaikan kepada teman-teman seiring Minin Kintong, Ruspandi dan Nuih.

Dengan sendirinya terimakasih sebesar-besarnya untuk istriku yang selalu setia menemani penulisan buku ini, serta anak-anakku yang tak jemu-jemunya mempertanyakan saat terbitnya buku ini. Demikian pula kepada semua pihak yang membantu terselenggaranya penerbitan buku ini, terutama kepada Pustaka Sinar Harapan penulis ucapkan terima kasih.

IS

BAGIAN PERTAMA
DASAR-DASAR PEMETAAN

TUJUAN INSTRUKSIONAL UMUM:

Setelah membaca bagian pertama ini, para pembaca diharapkan mengerti ruang lingkup proses pemetaan, serta memiliki dasar pengetahuan yang baik dalam menelusuri pembahasan mengenai pengukuran dan pemetaan yang akan dibicarakan selanjutnya.

TUJUAN INSTRUKSIONAL KHUSUS:

1. Memberikan dasar pengetahuan dalam perkembangan ilmu ukur tanah, dan permasalahan yang melatar-belakangi perkembangan ilmu pemetaan ini.
2. Agar mampu memberikan identifikasi mengenai proses tranformasi yang dipakai dan dilakukan dalam pengukuran dan pemetaan tanah.
3. Agar mampu memberikan identifikasi mengenai isi dan ruang lingkup proses pemetaan, serta kendala yang ada di dalamnya.
4. Agar mampu memberikan identifikasi segala sesuatu yang terlibat dalam proses ilmu ukur tanah dalam kaitannya dengan ketelitian pengukuran.
5. Agar mampu membedakan sarana dan peralatan yang terdapat dalam pelaksanaan pengukuran dan pemetaan tanah ini.

BAB I
PENDAHULUAN

1.1 Sejarah Pengukuran Tanah

Manusia tidak akan henti-hentinya melakukan pembangunan, yaitu selama bumi ini masih dihuni oleh manusia yang memiliki nalar yang logis-analitis. Pembangunan selalu berakibat perubahan di permukaan ataupun di dalam kulit bumi ini. Perencanaan yang dilandaskan oleh perhitungan yang teliti bagi pembangunan tersebut, akan mengantar manusia mendapatkan hasil yang optimal sebagai imbalan terhadap jerih payah tersebut. Sebagai bagian dari perencanaan, para ahli perencana dan perancang membutuhkan peta sebagai alat bahkan landasan utama dalam membuatkan rencana dan rancangannya, baik secara menyeluruh maupun per bagian.

Tata cara penentuan batas lahan, bahkan sengketa tanah ternyata bukan hanya milik penduduk bumi masa kini. Kedua masalah ini sudah dimulai di dataran Sungai Nil pada zaman Firaun. Setiap saat setelah banjir usai selalu terjadi persengketaan mengenai batas-batas tanah yang dimiliki oleh petani sebelum banjir tersebut berlangsung. Atas dasar pemikiran para ahli pada saat itu, maka dilakukanlah pengukuran dan pematokan batas yang masih sangat primitif namun cukup berhasil memberikan perdamaian di antara para petani Sungai Nil tersebut.

Pada saat tersebut konsep pematokan yang tetap dipakai sampai kini, sudah diterapkan oleh para ahli tersebut. Sekalipun alat yang dipakai hanyalah dalam bentuk tongkat kayu yang mencirikan satuan panjang tertentu dan sejumlah penggalan lingkaran yang memberikan ukuran sudut yang dikehendaki.

Walaupun bagaimana, Eratosthenes (276-195 SM) seorang Yunani yang bekerja pada lembaga pustaka Firaun dapat dikatakan sebagai pendahulu dan pencetus ide dalam pengukuran muka bumi ini[1]. Kisah ini dimulai dengan pertanyaan pada dirinya, mengenai

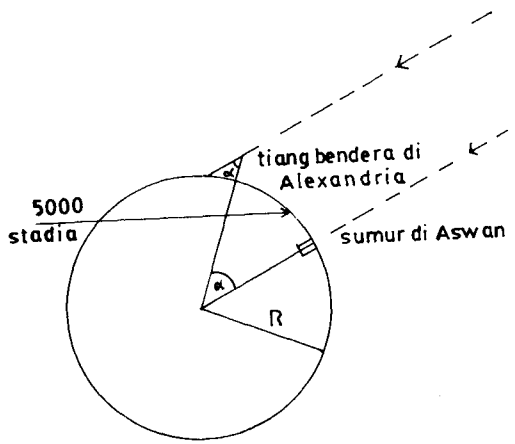
---

1) JORDAN, EGGERT, KNISELL, *Handbook of Geodesy,* Translated by M. Carta, Washington : US Army, 1972.

bayangannya yang terlihat jatuh di tengah sumur di Syene (Aswan) pada saat mana matahari berada tepat di atas kepalanya. Saat terjadinya kejadian tersebut dicatatnya dengan baik. Pada tahun berikutnya dia berada di Alexandria (Iskandariah), yaitu pada saat yang sama ketika kejadian di Aswan tersebut belum terjawab. Ketika itu dia melihat bahwa matahari memberikan bayangan bersudut sebesar 1/50 dari lingkaran penuh terhadap sebuah tiang bendera. Mengapa demikian, hal inilah yang akhirnya mencetuskan ide menghitung besarnya bumi itu sendiri.

Sebagai dasar perhitungannya adalah, diberikannya asumsi yang mengatakan, bahwa berkas sinar matahari berasal dari benda langit yang berjarak sangat jauh, sehingga berkas tersebut bergerak sejajar ketika mendekati permukaan bumi. Sehingga selayaknya apabila pada saat yang sama, sekalipun pada tahun yang berlainan, kedua bayangan tersebut mempunyai sudut miring yang sama besar.

Namun dari fakta yang dimilikinya ternyata terdapat perbedaan kemiringan arah berkas sinar matahari tersebut. Ia segera menduga, bahwa bumi ini pasti bulat, dan dengan demikian dapat pula dihitung keliling bumi tersebut. Sekalipun pada saat tersebut dunia masih dianggap benda mendatar.



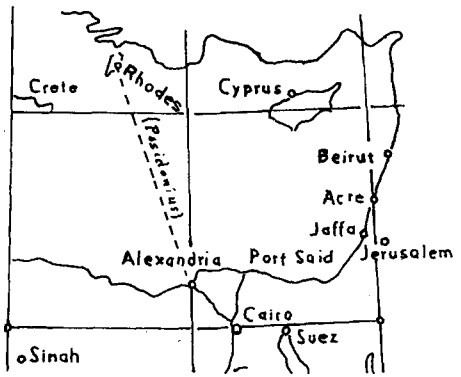
Gambar 1.1. Geometri Eratosthenes

Dari hubungan sudut miring bayangan yang dibuat oleh sinar matahari, yaitu sebesar 1/50 penggalan lingkaran serta jarak dari Iskandariah ke Aswan yaitu sekitar 5000 stadia, maka dapatlah diturunkan besarnya bumi. Satu (1) stadia adalah ukuran panjang Mesir kuno, yaitu kurang lebih 185 meter.

Keliling bumi menurut hitungan Eratosthenes adalah 50 x 5.000 stadia atau 250.000 stadia atau sekitar 46.250.000 meter. Hasil hitungan ini ternyata sangat baik, karena apabila dibandingkan

dengan pengukuran masa kini, hasil ini mempunyai ketelitian sebesar 84%. Pada saat ini peralatan ukur jarak sudah memanfaatkan sinar laser, namun Eratosthenes ternyata mampu mendekati nilai ukur cukup dengan tongkat dan penggalan lingkaran.

Penafsiran mengenai bentuk muka bumi ini sudah muncul sejak zaman dahulu, misalnya pada awal zaman Masehi sampai beberapa abad kemudian, manusia masih mempercayai bahwa muka bumi ini adalah datar dengan Jeru-zalem sebagai pusat bumi.



Gambar 1-2. Pelayaran Posidonius

Hal ini berarti konsep bentuk bumi ini masih ditolak sekalipun telah diukur dengan baik oleh Eratosthenes sekitar 200 tahun sebelumnya.

Posidonius (135-31 SM) menentukan besar bumi dengan mengukur panjang busur dari Iskandariah ke Rhodes. Pengukuran ini dilakukannya dengan melakukan pengamatan bintang Canopus.

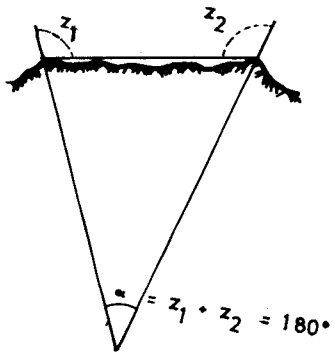
Pada suatu saat bintang tersebut mencapai horizon di Rhodes, ternyata pada saat tersebut tinggi bintang Canopus sama dengan 1/48 penggal apabila dilihat dari Iskandariah. Dari data tersebut dengan ditambah data jarak dari Rhodes ke Iskandariah, maka dapat dihitung besarnya keliling bumi. Posidonius mendapatkan harga 44.400.000 m untuk keliling bumi.

Penentuan bentuk bumi dan pengukuran kelilingnya juga dilakukan oleh pelbagai pengukuran para ahli ilmu falak baik dari bangsa Arab maupun Yunani. Mereka melakukan berbagai jenis pengukuran besarnya bumi, seperti panjang busur bumi, dengan melakukan pengukuran tinggi bintang secara astronomi geodesi.

Misalnya yang dilakukan oleh seorang ahli astronomi bangsa Arab. Pengukuran yang diperintahkan oleh Khalifah Al Mannun (1322) ini dilakukan berdasarkan penentuan panjang busur 1^0 di meridian yang melalui daerah Zinjar di sebelah barat Bagdad dan pada lintang $36^0 20'$. Hasil penentuan dengan cara astronomi geodesi

tersebut menghasilkan keliling bumi sebesar 81.600.000 ell atau 41.436.000 meter. Satu (1) ell adalah ukuran panjang, yaitu sekitar 1/4.000 mil.

Willebrord Snell seorang ahli matematika Belanda dianggap sebagai orang pertama yang menyelenggarakan pengukuran geodesi seperti yang dilakukan sekarang, yaitu pengukuran triangulasi dalam ukuran derajat. Pekerjaan yang dilakukannya pada tahun 1617 terdiri dari 33 buah segitiga dengan hasil yang sangat baik, terbukti dengan penelitian yang dilakukan pada akhir-akhir ini. Pekerjaannya menghasilkan panjang seperempat meridian adalah 9660 km dan ini hanya mengandung kesalahan sebesar 3,4%.



Gambar 1-3. Pengukuran sudut zenith

Lain halnya dengan peneliti dari Inggris Norwood yang mengukur busur sepanjang London dan York dengan menggunakan pita ukur pada tahun 1633.

Dua belas tahun kemudian dua orang Italia, Grimaldi dan Riccioli melakukan pengukuran sudut zenith pulang pergi. Pengukuran ini akan sangat berhasil dengan baik, seandainya koreksi refraksi cahaya diperhitungkan dengan baik pula.

Abad 17 dan 18 pengukuran bumi dilakukan oleh peneliti Perancis di bawah pimpinan J. Picard dengan maksud menyelenggarakan pemetaan daerah Perancis. Pada masa itu muncul nama-nama besar seperti Lahire, Dominique Cassini dan Jaques Cassini.

Pada abad 19 yang lalu muncul nama-nama besar yaitu para ahli matematika, fisika dan astronomi yang mencetuskan pelbagai sistematika perhitungan yang lebih teliti serta mempertimbangkan pelbagai faktor yang berpengaruh kepada permukaan bumi tersebut. Mereka adalah Gauss, "Pangeran Matematika" yang banyak menurunkan rumus-rumus astronomi geodesi dan statistika pengukuran; Legendre dengan perhitungan jarak di atas muka bumi ataupun bidang referensinya; Laplace dengan geodesi fisis dan kontrol kerangka dasar geodesi, serta para ahli lainnya seperti Bessel, Clairout dan lain sebagainya.

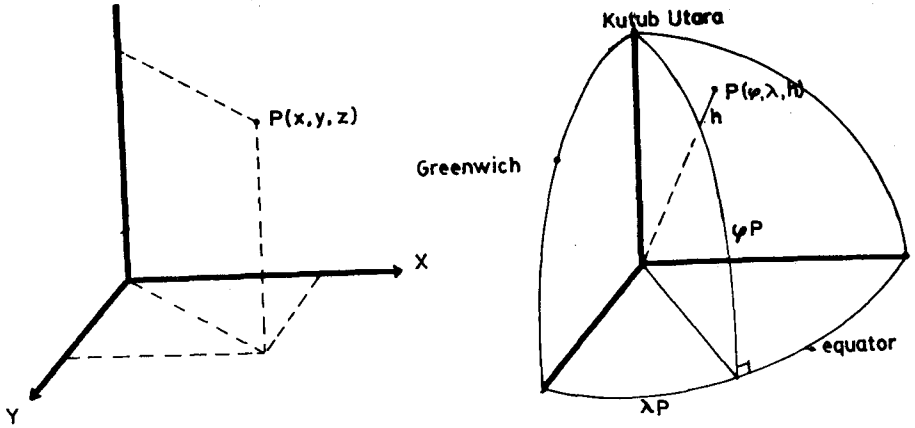
Kemajuan ilmu pengetahuan, khususnya dalam bidang geofisik mengenai gaya-gaya endogen dan eksogen yang berpengaruh terhadap pembentukan muka bumi, melahirkan nama-nama cemerlang seperti, Heiskannen yang bergelar Pangeran Geofisik, Vening Meinesz yang memetakan Laut Indonesia serta para ahli lainnya. Dari teori yang mereka kembangkan serta hasil pemotretan yang dilakukan dari satelit geodesi dapat diketahui, bahwa ternyata bentuk bumi ini mirip seperti buah peer, atau secara sederhana dapat dilukiskan sebagai sebuah jeruk yang kering dan berkerut. Walaupun demikian seperti yang disinggung di atas, ternyata gaya endogen seperti gerak magma, gerak benua serta getaran gempa yang terjadi sepanjang hari dan hal ini menyebabkan muka bumi ini selalu berubah. Di lain fihak, gaya exogen seperti gaya tarik menarik antar matahari, bumi dan bulan menyebabkan muka bumi selalu bergerak sekalipun dalam skala yang cukup kecil.

1.2. Bentuk Muka Bumi

Setiap saat muka bumi ini diganggu oleh pelbagai gaya, baik yang berasal dari dalam (gaya endogen), maupun dari luar (gaya eksogen). Walaupun pelbagai gerakan berpengaruh dalam membentuk muka bumi ini, namun masih dapat dikatakan bahwa perubahan tersebut relatip kecil dibandingkan dengan keinginan manusia untuk terus melakukan perombakan terhadap muka bumi ini. Hal inilah yang tetap mendorong para ahli geodesi untuk mengembangkan pelbagai teknik pengukuran yang lebih teliti serta menciptakan peralatan ukur yang semakin cermat, dan otomatik. Sehingga hasil pemetaan tersebut dapat segera dimanfaatkan oleh para perencana dan perancang tersebut.

Sebagaimana yang dijelaskan di atas bahwa permukaan bumi adalah suatu bulatan yang berarti suatu permukaan dalam ruang tiga dimensi, sehingga setiap titik di permukaanya dapat dinyatakan dalam sistem salib sumbu tiga dimensi pula.

Misalnya dalam sistem koordinat siku-siku ruang, sebuah posisi dinyatakan dalam tiga dimensi X, Y, dan Z. Pasangan terurut (X,Y) mewakili arah horizontal muka bumi pada titik yang bersangkutan, serta komponen Z mewakili tinggi titik tersebut terhadap suatu bidang referensi tinggi yang telah disepakati terlebih dahulu. Cara lain adalah dengan memakai sistem koordinat geografis (L, B, h), dimana L dan B bersama-sama mewakili arah horizontal di titik yang



a. Sitem Kartesis b. Sistem Geografis

Gambar 1.4. Sistem koordinat pemetaan

bersangkutan dengan L (lintang) mewakili arah utara/Selatan dan B (bujur) terhadap arah Barat/Timur, sedangkan h (tinggi) mewakili jarak vertikal dari titik yang bersangkutan terhadap bidang acuannya.

Sesuai dengan keadaan reliefnya, maka permukaan bumi ini dapat diklasifikasikan menjadi tiga jenis[2], yaitu

a. Datar yang hampir tidak terdapat perbedaan tinggi,
b. Berbukit yang sudah terdapat perbedaan tinggi, dan
c. Bergunung.

Permukaan di atas dengan sendirinya dipengaruhi oleh massa yang dimilikinya, artinya apabila dikaitkan dengan gaya-gaya eksogen dan endogen di atas dapat disimpulkan bahwa permukaan bumi tersebut tidak stabil. Sehingga dapat dimaklumi apabila rupa muka bumi itu menjadi tak menentu.

Di lain fihak ketiga kelas tersebut juga mencirikan luas daerah masing-masing. Datar berkaitan dengan pengertian muka bumi yang tidak terlalu luas. Berbukit mensiratkan daerah yang mempunyai luas sedang dan bergunung pasti melibatkan luas muka bumi yang cukup besar. Sehingga jelaslah massa yang berpengaruh kepada medan gravitasi untuk masing-masing kelas juga berbeda, dan hal ini pula menyebabkan bidang referensi hitungan yang dipakai akan berbeda pula.

2) G. BOMFORD, *Geodesy*, (London: Oxford Press, 1973)

Dari uraian di atas patut dimaklumi oleh para pemakai peta seperti para teknisi sipil, geologi, arsitektur, teknik penyehatan serta planologi, betapa rumitnya pembuatan suatu peta yang baik. Konsekuensi dari pemakaian peta yang telah terlalu tua bagi semua perencanaan yang dilakukannya akan mengidap risiko yang tidak kecil pula. Semuanya ini disebabkan baik oleh keadaan fisis bumi yang selalu berubah, ataupun keadaan udara akan mempengaruhi kerutan lembar peta yang dipakai tersebut.

Penyimpangan yang terdapat pada peta-peta lama terhadap keadaan muka bumi pada saat sekarang dapat pula disebabkan oleh manusia, misalnya dengan didirikannya proyek-proyek raksasa, akan merubah volume serta massa bahkan fisik bumi itu sendiri. Sehingga sepatutnya dalam pemakaian suatu peta perlu selalu diperhatikan secara serius gejala di atas, di samping selalu diadakan perbaikan (revisi) peta secara berkala.

Pada zamannya, Gauss meramalkan,[3] bahwa pengetahuan manusia tentang bentuk bumi akan semakin maju, dan ini terbukti dengan penggunaan sarana satelit melalui gelombang elektromagnetis, maupun dengan menggunakan pelbagai jenis gelombang optis. Ketelitian pemetaan memang berkembang dengan berkembangnya teknik dan peralatan di atas. namun kerumitan perhitungan juga semakin besar, sekalipun telah dibantu oleh peralatan komputer. Perhitungan penyelenggaraan kerangka dasar bagi suatu negara seperti Indonesia ini, ternyata memerlukan waktu puluhan tahun. Kerangka dasar tersebut adalah pengukuran triangulasi bagi kepentingan informasi posisi mendatar, maupun sipat datar teliti bagi kerangka vertikalnya. Demikian pula penyelenggaraan titik datum yang diperlukan sebagai informasi awal dari pengukuran yang bersangkutan menyita dana dan waktu yang sangat besar.

1.3. Rangkuman 1

Dalam bagian pertama ini telah ditunjukkan dasar-dasar pengetahuan yang diperlukan untuk dapat memahami pekerjaan pengukuran dan pemetaan. Untuk maksud tersebut secara berturut-turut diuraikan sejarah pemetaan serta bentuk rupa bumi yang membantu para pembaca memperluas wawasan mengenai tujuan penulisan buku ini. Dengan dasar tersebut selanjutnya bab kedua

3). Josep Soenarjo, "Geodesi dan Pembangunan", Makalah dalam Pengabdian, Dep. Geodesi ITB, hlm. 33-35.

berisikan ruang lingkup pemetaan yang akan meliput seluruh acara pemetaan yang diperlukan baik dari sudut pengambilan, pengolahan maupun penyajian data. Segala sesuatu yang berkaitan dengan pengukuran dan pemetaan serta interaksi yang terjadi di antaranya akan dibicarakan baik dalam segi peralatan, manusia maupun fisik bumi.

Pandangan yang menyeluruh tersebut selanjutnya mengantar pembaca dalam membicarakan dasar-dasar pengukuran yang diperlukan dengan diawali oleh beberapa notasi dan definisi yang selalu digunakan pada bagian-bagian dan bab-bab selanjutnya.

Bagian ini diakhiri oleh bab ke-empat yang menyinggung konsep pemetaan lengkap dengan teknik penggambaran yang diperlukan.

1.4. Latihan 1

1. Jika hasil pengukuran yang dilakukan oleh Eratosthenes terhadap sudut miring sinar matahari adalah 1/50 lingkaran dan jarak dari Aswan ke Iskandariah adalah 5000 stadia, maka keliling bumi adalah:

   a. 43.250 km
   b. 45.250km
   c. 44.250 km
   d. 46.250 km

2. Jika 1 stadium adalah 185 meter, maka perbandingan hasilnya dengan hasil ukuran yang dilakukan oleh para akhli zaman modern ini, berbeda:

   a. 10%
   b. 16%
   c. 6%
   d. 20%

3 Apabila kesalahan pengamatan astronomi yang dilakukan oleh Posidonius sebesar 1" (detik sudut), maka besar keliling bumi tersebut adalah:

   a. 44.400 km ± 1 km
   c. 44.000 km ± 23.4 meter
   b. 44.400 km ± 33,9 km
   d. 44.400 km ± 25,6 meter

4. Pengukuran sudut zenith resiprokal yang dilakukan Grimaldi dan Riccoli akan lebih berhasil apabila kepada hasil ukurannya diberikan koreksi refraksi. Koreksi ini membutuhkan data:

   a. suhu udara
   b. suhu dan tekanan udara
   c. suhu, tekanan dan kelembaban
   d. suhu dan kelembaban

5. Jelaskan realisasi hukum gravitasi Newton dalam kaitannya dengan pembentukan muka bumi yang berpotensi sama, yaitu dalam hubungan:

   a. jari-jari membesar dengan bertambahnya massa
   b. jari-jari mengecil dengan bertambahnya massa
   c. jari-jari mengecil dengan berkurangnya massa, atau
   d. jari-jari membesar dengan berkurangnya massa

6. Sistem koordinat kartesis (x,y) menyiratkan data-data berada di atas:

a. tanah
b. peta
c. keduanya
d. proyeksi

7. Pemakaian peta tua mengidap risiko yang disebabkan oleh kesalahan-kesalahan ini kecuali :

a. pemuaian
b. pengerutan peta
c. data berubah
d. data berganti

BAB II
RUANG LINGKUP PEMETAAN

Sebagaimana laiknya suatu proses, demikian pula pemetaan memiliki tiga 3 bagian utama yang menarik dalam tahapan pembuatan suatu peta, yaitu tahap pengukuran, pengolahan dan penggambaran. Dalam pelaksanaannya ketiga bagian utama ini akan selalu mengalami gangguan (distorsi) baik oleh manusia, alam, maupun alat yang dipergunakan dalam pelaksanaan pemetaan. Sehinga selalu dituntut pelaksanaan cermat yang berdasarkan perhitungan yang mantap agar didapatkan peta yang sesuai dengan yang dikehendaki oleh pemberi pekerjaan, yaitu sesuai dengan persyaratan yang tersedia.

2.1. Pengambilan Data

Di dalam tahapan pengukuran terdapat tiga 3 faktor yang paling dominan dan akan mepengaruhi ketelitian hasil ukur. Ketiganya adalah kestabilan peralatan ukur, keterampilan pengukur itu sendiri serta keadaan alam pada saat pengukuran tersebut berlangsung.

2.1.1. Peralatan Ukur

Alat ukur yang dibuat oleh para teknisi sudah sebaik mungkin, namun sejak alat ukur tersebut keluar dari pabrik, maka pelbagai kondisi akan berusaha merubah ketelitian tersebut, seperti benturan, suhu, tekanan serta kelembaban udara. Sehingga bagi setiap alat ukur yang akan dipakai di lapangan sebaiknya dikalibrasi terlebih dahulu, agar hasil ukurnya dapat diandalkan bagi pemrosesan selanjutnya[4].

Hampir semua peralatan survey dan pemetaan dilengkapi dan mengandalkan kemampuan peralatan optik, seperti lensa, prisma dan cermin. Untuk itu perlu disinggung dalam bagian ini sedikit mengenai peralatan optik yang berhubungan dengan alat ukur tersebut.

4). Indra Sinaga, "Penyelenggaran jaring kalibrasi alat survey di Indonesia" Pertemuan dan Presentasi Ilmiah KIM-LIPI, 1983.

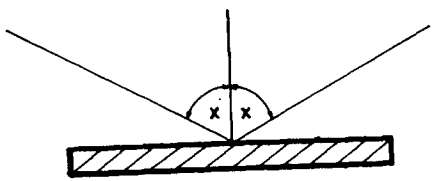
Demikian pula halnya, dengan alat ukur jarak elektronis masih tetap mengandalkan perlengkapan optis sehingga beberapa alat ukur tersebut dikenal dengan nama *electro-optical distance meter*. Perlengkapan tersebut umumnya terdiri dari gabungan lensa dan cermin.

A. Peralatan Optik

Apabila seberkas sinar jatuh pada sekeping gelas, maka terdapat beberapa kemungkinan yang terjadi terhadap gerak dan arah dari berkas tersebut, seperti refleksi, refraksi ataupun menembus langsung.

A.1. Hukum Refleksi

Jika suatu berkas sinar jatuh pada sebuah cermin ataupun gelas datar, maka berlaku rumus dasar, bahwa sudut datang akan sama dengan sudut pergi dari berkas sinar yang bersangkutan.



Gambar 2.1. Pemantulan sinar

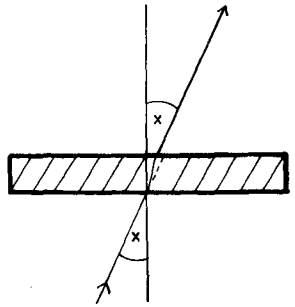
Gejala ini umumnya terjadi apabila sudut datang berkas sinar tersebut cukup tumpul, seperti halnya sebuah batu yang dilemparkan ke atas permukaan air, maka batu tersebut akan terpantul beberapa kali terlebih dahulu. Dari hal ini jelas diketahui, bahwa sudut yang dibentuk antara arah datang dengan permukaan gelas akan sama dengan sudut yang dibentuk antara arah pergi dengan bidang gelas tersebut.

A.2. Hukum Refraksi

Apabila berkas sinar tersebut semakin mendekat pada sumbu PP, maka sinar tersebut tidak akan terpantul lebih lanjut, namun akan menyelam ke dalam gelas datar tersebut, gejala ini dikenal dengan nama refraksi. Dalam hal inilah kecepatan dan arah berkas sinar tersebut akan berubah.

Refraksi tersebut akan mengambil alih gejala refleksi apabila sudut yang dibentuk oleh berkas sinar tersebut dengan sumbu PP lebih kecil dari 41.

Dari gambar terlihat, bahwa sinar tersebut akan membelok mendekati sumbu PP dan akan menjauhi sumbu tersebut, apabila keluar kembali ke udara bebas. Hal ini terjadi karena kepadatan gelas yang lebih besar daripada udara, sehingga apabila kepadatannya membesar, maka sinar akan membelok mendekati sumbu, demikian pula sebaliknya.



Gambar 2.2. Gejala refraksi

Apabila sumber sinar tersebut semakin dekat dengan sumbu, maka gejala refraksi dan refleksi akan hilang, sehingga berkas sinar itu akan menembus gelas datar tersebut secara sempurna.

A.3. Lensa

Untuk permukaan gelas yang melengkung, ternyata berkas sinar tersebut juga akan mengalami pembiasan terhadap normal di titik tersebut, yaitu apabila memasuki gelas dan akan menjauhi normal

Gambar 2.3. Jenis lensa

ketika memasuki udara kembali. Normal adalah garis yang tegak lurus pada garis singgung di titik yang bersangkutan.

Beberapa bentuk lensa dapat dibedakan sebagai berikut:

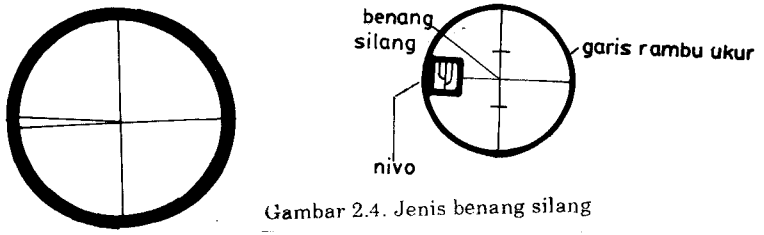
1. Jika lengkungannya menghadap ke muka, maka disebut sebagai lensa konkaf dengan kemungkinan konkaf ganda seperti gambar 2.3a.
2. Jika hanya satu muka yang melengkung dan muka lainnya datar, maka disebut "plano-concave" seperti pada gambar 2.3. b.
3. Jika satu muka cekung dan muka lainnya datar disebut plano konveks, seperti gambar 2.3.c.

4. Jika muka pertama konveks dan muka lainnya konkaf, maka lensa tersebut dinamakan "concave-convex".

Keempat jenis lensa ini dipasang di dalam teropong alat ukur dengan masing-masing fungsi, seperti lensa konkaf ganda akan bertugas untuk menyebarkan sinar yang melalui teropong tersebut, dan dua buah "plano-concave" yang saling bertolak belakang akan menghasilkan pembesaran bayangan. Patut diperhatikan, apabila sinar masuk melalui sumbu lensa, maka berkas sinar tersebut bebas dari pengaruh refleksi dan refraksi.

A.4. Benang dan Eyepiece

Reticule adalah sekeping gelas datar yang bundar, dan merupakan tempat untuk memfokuskan bayangan yang timbul. Gelas ini diberi guratan yang dikenal dengan *crosshair,* atau benang diafragma. Beberapa bentuk benang tersebut terlihat pada gambar di bawah ini.

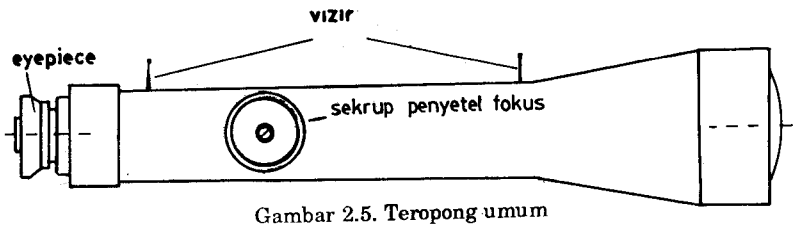


Gambar 2.4. Jenis benang silang

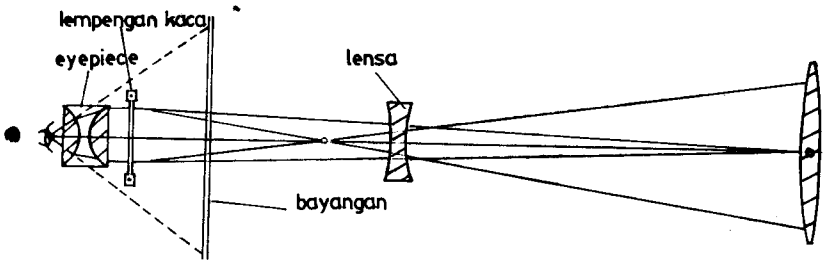
A.5. Teropong dan Alat Ukur

Sebagaimana telah dijelaskan di atas bahwa lensa dan kelompok lensa akan berfungsi sesuai dengan susunan yang dibentuk oleh pembuat alat. Demikian pula halnya pada alat survai yang memakai teropong, maka susunan lensanya juga diatur sedemikian rupa agar dapat memenuhi keinginan pembuat alat tersebut.

Dengan sendirinya tujuan utama penyusunan lensa pada sebuah alat teropong adalah agar melihat benda/bayangan yang letaknya cukup jauh dari pengamat/pengukur, yaitu benda yang tidak mungkin terlihat dengan mata telanjang.



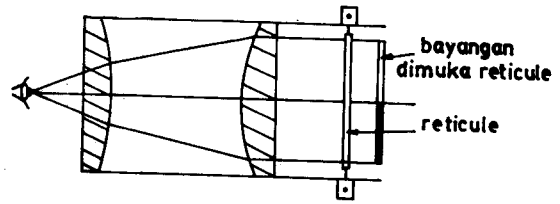
Gambar 2.5. Teropong umum



Gambar 2.6. Bagan bagian dalam teropong

A.5.1. Paralaks

Kesalahan yang umumnya terjadi pada pembacaan dengan memakai teropong adalah pemfokusan dari bayangan yang dimaksud atau pada keadaan fisiknya adalah kesalahan penempatan bayangan pada reticule yang tersedia.



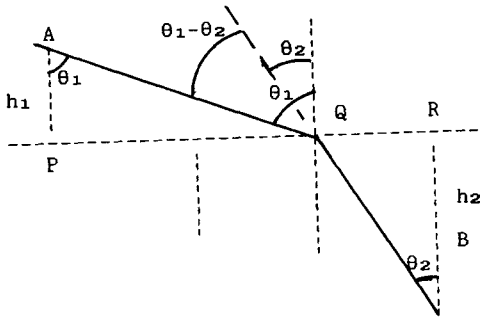
Gambar 2.7. Gejala paralaks

Pada gambar 2.7 terlihat bahwa bayangan terletak di muka dari reticule, padahal benang silang terletak pada reticule tersebut dan terlihat dengan jelas. Sehingga apabila kepala pengukur digerakkan baik ke kiri dan ke kanan ataupun ke atas dan ke bawah, maka *cross hair* tersebut akan bergerak terhadap bayangan tersebut.

Untuk menghindarkan kesalahan dalam melakukan pemfokusan tersebut, dapat dilakukan perbaikan sesuai dengan langkah-langkah di bawah ini,

1. Arahkan teropong ke obyek yang jauh sekali, dan putarlah sekrup pengatur benang diafragma, sehingga benang silang tersebut terlihat jelas dan berwarna hitam pekat.
2. Arahkan teropong pada obyek yang cukup jauh, dan putarlah sekrup fokus agar bayangan terlihat dengan jelas, dan
3. Dengan demikian bayangan dan *crosshair* sudah berimpit di reticule teropong tersebut.

A.5.2 Indeks bias (refraksi)



Gambar 2.8. Pembiasan sinar

Dari pelbagai gejala yang berpengaruh pada gerak sinar di dalam medium, maka apabila sinar tersebut melalui dua jenis medium yang berbeda kerapatannya, maka akan terjadi pembiasan yang dimaksud. Panjang h1 dan h2 adalah jarak yang terbentuk sejak si-nar masuk ke proyeksinya di batas ke dua medium yang bersangkutan.

$$n = \frac{c}{v}$$

n = indeks bias
c = kecepatan cahaya dalam vakum
v = kecepatan cahaya dalam medium

$$V = v.t.$$

s = jarak
t = waktu tempuh

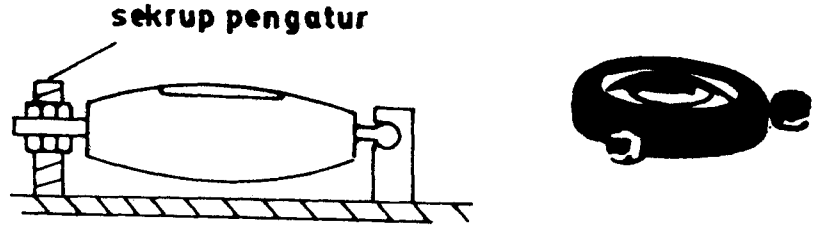
Akhirnya didapatkan:

$$\frac{n1}{n2} = \frac{\sin \emptyset_2}{\sin \emptyset_1}$$

B. Nivo

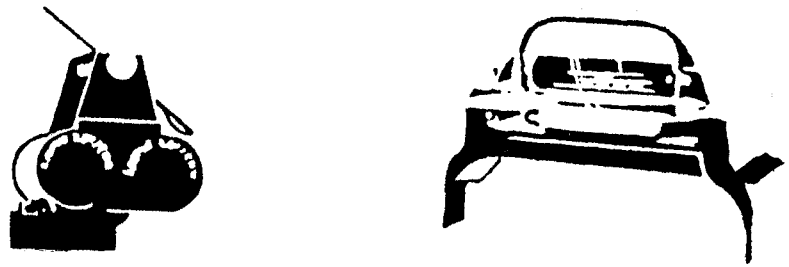
Pada tahap pengukuran, seperti yang telah diuraikan di atas, semua hasil pengukurannya bereferensi pada sebuah permukaan geoid yang dibangun dari hasil pengukuran air laut rata-rata dalam keadaan tidak terganggu selama 18,6 tahun. Jadi baik sistem koordinat tinggi (h) maupun sistem koordinat horizontal (x,y), sesungguhnya berorientasi pada garis gaya gravitasi di tempat pengukuran tersebut. Untuk koordinat tinggi adalah sepanjang garis gaya gravitasi tersebut, dan untuk koordinat horizontal pada bidang normal garis gaya gravitasi di titik pengukuran.

Untuk mendapatkan keadaan tersebut pada saat pengukuran, maka diperlukan sebuah alat bantu yang dikenal dengan nama nivo. Yaitu sebuah tabung kaca yang melengkung keluar dan berisikan ether atau alkohol dan mempunyai sebuah gelembung udara. Apabila gelembung tersebut berada di tengah, maka keadaan ini berarti bidang horizontal tegak lurus terhadap garis gaya gravitasi di tempat kedudukan tersebut.



a. Tabung b. Kotak

Gambar 2.9a. Nivo pada alat ukur yang umum



c Horrebow d. Tunggang

Gambar 2.9b. Jenis Nivo pengukuran teliti.

Kegunaan nivo ini di antaranya adalah untuk mengetahui kemiringan sb II. Hal ini dilakukan dengan menggunakan nivo tunggang dan melakukan penelitian sebagai berikut,

a. Catat bacaan nivo pada keadaan B & LB
b. Hitung berapa penggeseran skala nivo, maka dengan menggunakan rumus = 1/2 x bacaan x satuan nivo akan didapatkan besar kemiringan yang terjadi.

Contoh: satuan skala nivo = 1,
pergeseran gelembung = 3 skala, maka
kemiringan alat: 1/2 x 3 x 1' = 1,5'

2.1.2. Juru Ukur

Setiap pengukur memiliki kecenderungan penyimpangan alamiah dalam melakukan setiap gerakan. Seperti misalnya kebiasaan seseorang dalam menempatkan arah vizier senjata pada target yang dibidiknya akan selalu berpengaruh pada ketelitian hasil tembakannya. Contoh lain adalah kecenderungan manusia yang tidak dapat bergerak pada suatu garis lurus, juga akan menyesatkan gerakannya. Hal ini umumnya ditemukan apabila dilakukan perintisan jalur pengukuran di antara semak belukar, yaitu apabila daerah pengukurannya adalah hutan rawa yang terdiri dari semak yang lebih tinggi dari pengukur itu sendiri. Keadaan ini disebabkan oleh karena setiap manusia memiliki kecenderungan kestabilan yang berbeda. Sulit bagi seseorang yang tidak terlatih untuk dapat mempertahan-kan gerakannya di jalur yang lurus. Jadi sepatutnyalah, apabila gerak seseorang pengukur sangat dipengaruhi oleh kebiasaan yang dilakukannya dan ini akan berpengaruh pada hasil pengukurannya.

Kesalahan yang dilakukan tanpa disadari oleh setiap pengukur *(personal error)* dapat dibagi menjadi dua bagian, yaitu kesalahan konstan yang berasal dari kumulasi kebiasaan yang dimilikinya, dan bagian yang variabel yang dipengaruhi oleh kondisi sesaat yang berpengaruh pada pengukur.

2.1.3. Cuaca Dan Keadaan Alam

Alam adalah faktor yang paling berpengaruh pada pengukuran, misalnya, suhu, tekanan serta kelembaban udara. Hal ini jelas telah dikenal dengan baik, yaitu memberikan effek pemuaian ataupun berakibat sebagai efek melengkungnya sinar yang masuk ke dalam teropong (refraksi). Semua gejala ini dialami oleh hasil pengukuran sejak mulai dari target yang dibidik sampai dengan di dalam teropong itu sendiri (lihat bagian kedua: Pengukuran).

2.2. Pengolahan Data

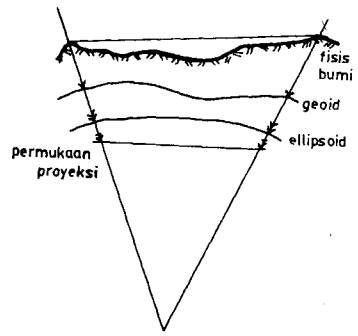
Pada tahap pengolahan data hasil ukuran juga terdapat tiga butir masalah yang perlu mendapat perhatian yang mendalam, seperti reduksi hasil ukuran terhadap semua penyimpangan yang terjadi pada tahap pengukuran, proses hitungan yang menyangkut permukaan yang tidak tentu (permukaan dengan model matematis yang rumit), serta pemilihan jenis analisis hasil pengukuran tersebut.

Untuk mendapatkan hasil pengukuran yang teliti, dengan sendirinya, masalah yang terdapat pada tahap pengukuran ini perlu diperhatikan dengan serius. Tanpa data-data yang baik mengenai faktor di atas, maka hasil pengukuran juga tidak akan mendapatkan reduksi atau koreksi yang memadai sebagaimana mestinya. Sehingga selain mengambil data-data ukuran bagi pemetaan, maka seorang juru ukur wajib pula melakukan pengamatan pada peralatan ukur yang dipakainya, gejala alam yang berpengaruh pada saat pengukuran serta ketelitian pengukur itu sendiri. Dengan demikian akan dapat diolah data hasil ukuran tersebut untuk mendapatkan data bersih bagi perhitungan selanjutnya.

2.2.1. Reduksi Ukuran

Pada tahap hitungan koordinat terdapat pula beberapa masalah yang harus lebih dahulu diatasi agar dapat mengolah data bersih di atas, seperti pemilihan bidang referensi hitungan serta bidang proyeksi yang dipakai bagi pemetaan daerah ukur di atas.

Pada hakekatnya pengukuran yang dilakukan di atas suatu titik hanyalah berorientasi pada gaya berat di titik yang bersangkutan saja. Maksudnya adalah baik orientasi horizontal (bidang datar) maupun vertikal yang didefinisikan oleh gelembung nivo di titik tersebut tidaklah sama dengan di titik lainnya. Hal ini patut diperhatikan, karena untuk membuat bidang horizon di titik tersebut pengukur mendapat bantuan dari satu atau lebih garis jurusan nivo. Sedangkan garis jurusan nivo hanya didapatkan dengan bantuan nivo. Jadi penempatan gelembung nivo inilah yang erat kaitannya dengan gaya berat di titik yang bersangkutan. Konsekuensinya apabila terdapat beberapa titik ukur, maka tidak satu pun dari mereka yang diduga memiliki bidang nivo yang sama, sehingga untuk mengetahui hubungan antar titik-titik tersebut, diperlukan suatu bidang referensi ukuran.

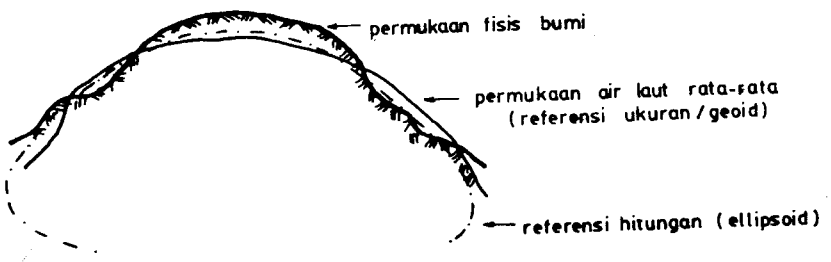


Gambar 2.10. Reduksi hasil ukuran

Hal ini dimaksudkan agar semua data hasil ukuran di atas terletak dalam satu bidang referensi ukuran yang sama. Sampai saat ini bidang referensi ukuran yang dipakai secara umum adalah *suatu*

bidang yang diambil dari hasil pengukuran air laut rata-rata dalam keadaan tidak terganggu (mean sea level). Apabila permukaan air laut rata-rata ini diperluas meliputi seluruh permukaan bumi, maka permukaan tersebut dikenal dengan istilah geoid. Setelah hasil ukuran direduksikan ke atas permukaan referensi ukuran tersebut, maka titik-titik tersebut sekarang berada pada sistem ukuran yang seragam. Artinya hasil ukuran tersebut sudah memiliki kaitan yang formal di antara satu hasil ukuran dengan hasil ukuran lainnya.

Namun sebagaimana yang telah diungkapkan di atas, ternyata bidang geoid ini sangat tergantung pada gaya berat di setiap titik di



Gambar 2.11. Bidang referensi untuk pemetaan

atas permukaannya, yang berkaitan pula dengan distribusi massa yang terdapat di bawah permukaannya, yang berkaitan pula dengan distribusi massa yang terdapat di bawah permukaannya. Dengan perkataan lain geoid bukanlah suatu bidang hitungan yang sederhana, karena fungsi matematisnya yang sangat rumit. Untuk mengatasi permasalahan ini, maka diperlukan pula suatu bidang pengganti yang dapat dipakai sebagai bidang referensi hitungan yang cukup sederhana. Untuk maksud tersebut, maka batasan yang dipakai adalah luas dari daerah yang dipetakan dan bidang referensi hitungan yang dipilih adalah ellipsoid (spheroid), bola atau bidang datar [5].

a. Apabila luas daerah yang dipetakan lebih besar dari 5500 km persegi, maka ellipsoid dapat dipakai sebagai bidang referensi hitungan. Umumnya setiap negara mempunyai referensi tersendiri, seperti misalnya Indonesia memilih ID 81 (Indonesian Datum tahun 1981). Ellipsoid ini mempunyai besaran untuk a (setengah sumbu panjang) = 6 337 397 meter dan b (setengah sumbu pendek) = 6 356 078 meter.
b. Apabila luas daerah pengukuran tersebut memiliki ukuran panjang maksimal sebesar 100 km, maka bidang referensinya adalah sebuah bola, dan
c. Untuk daerah yang lebih kecil yang ukuran panjangnya terbesar tidak lebih dari 55 km, maka bidang referensinya yang dipilih dapat sebuah bidang datar.

Walaupun bagaimana peran bidang referensi hitungan jenis pertama (ellipsoid) akan sahih, apabila kemiringan potongan dari bidang referensi ukuran terhadap hitungan tersebut masuk kepada toleransi telah didefinisikan sebelumnya. Jadi jelaslah sampai tingkat pengolahan data sudah banyak terjadi reduksi serta koreksi yang diberikan pada hasil ukuran di atas. Namun untuk kepentingan Ilmu Ukur Tanah, selalu diartikan, bahwa pemetaan yang dilakukan adalah untuk luas yang tidak terlalu besar, atau bidang referensi hitungan yang dipakai adalah bidang datar.

Seperti yang disinggung di atas, pada setiap titik di atas permukaan fisis bumi memiliki besar dan arah gaya gravitasi yang berbeda. Dalam kaitan dengan kedudukan atau posisi setiap titik, maka arah gravitasi ini memegang peranan yang penting. Hal ini disebabkan bidang nivo hanya dapat dinyatakan dengan menyatakan ketegaklurusannya pada masing-masing arah garis gaya gravitasi yang bersangkutan. Sehingga setiap bidang nivo yang satu akan nyelimuti bidang nivo yang lain. Dengan mengambil bidang nivo rata-rata yang melalui permukaan air laut inilah akhirnya didapatkan geoid. Selanjutnya karena tidak memuaskan bagi bidang referensi hitungan, maka diambil bidang referensi pengganti misalnya ellipsoid untuk daerah pemetaan yang sangat luas. Dengan demikian ukuran yang dilakukan di atas permukaan bumi perlu direduksi ke atas permukaan ellipsoid pengganti tersebut.

Misalnya, untuk pengukuran azimut awal harus diingat bahwa pengukuran dilakukan di atas permukaan fisis bumi, namun perhitungan dilakukan di atas permukaan ellipsoid. Pada akhir kerangka geodetis hal ini patut diberikan toleransi pengukuran dalam bentuk batasan yang dapat diterima, koreksi ini dikenal dengan nama koreksi Laplace. Untuk jelasnya lihat gambar 2.11, di bawah ini. Pada titik awal dilakukan pengukuran astronomis untuk mendapatkan besaran awal seperti lintang (L^a), bujur (B^a) dan azimut astronomis (A^a). Selanjutnya data tersebut direduksi ke atas per-

5). Soetomo Wongsotjitro. *Ilmu Ukur Tanah.* Yogyakarta, Penerbit Kanisius, 1985.

mukaan ellipsoid sehingga menjadi lintang geodetis (L^g), bujur geodetis (B^g), dan azimut geodetis (A^g). Data-data ini dipakai untuk menghitung posisi titik kerangka dari awal sampai akhir. Pada titik kontrol terakhir selain didapatkan dari hasil perhitungan juga umumnya dilakukan pengukuran kontrol dan titik ini dikenal dengan stasion Laplace dan hubungan yang didapat di antaranya disebut sebagai persamaan Laplace[6]:

$$A^g = A^a + (B^a - B^g) \sin L \quad \text{..... (2.1)}$$

Catatan : B selalu dihitung positif ke Barat.

Demikian pula situasi horizon di tempat pengamat perlu diberikan koreksi, karena kedudukan ellipsoid tidak selalu berhimpit dengan geoid di tempat pengamatan. Bahkan secara umum dapat dikatakan, bahwa normal ellipsoid di titik pengamat tidak berimpit dengan normal geoid di titik pengamat yang sama. Besarnya koreksi tersebut dinyatakan oleh rumus:

$$L = L_h - 0,"17.\ h.\ \sin 2L, \quad \text{..... (2.2)}$$

Catatan : L_h = lintang pada ketinggian h
h dihitung dalam kilometer

Selain dari kedua jenis transformasi koordinat yang dilakukan oleh kedua rumus di atas, juga sering dibuatkan pengukuran kontrol jarak pada sisi kerangka yang terakhir. Reduksi jarak dari geoid ke ellipsoid berkaitan dengan jarak ketinggian yang terdapat di antara kedua bidang referensi tersebut. Rumus reduksinya adalah:

$$d_{ell} = \frac{R}{R+N} d_{geoid}$$

$$= D_{geoid} \left(1 \frac{N}{R}\right) \quad \text{..... (2.3)}$$

2.2.2. Proses Hitungan

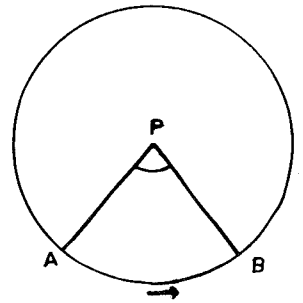
Sebagaimana diuraikan di atas, perhitunggan yang diperlukan pada pemetaan ini selalu memanfaatkan teknik berhitung yang lazim berlaku mulai dari teknik aljabar pada perhitungan beda tinggi, penggunaan hitungan koordinat sederhana di atas permukaan datar, pemakaian ilmu ukur segitiga bola dan ilmu ukur ellipsoid

6). Josef Soenarjo, "Konsep-konsep dasar dalam Pemetaan dan Geodesi". Makalah dalam Pengabdian Dept. Geodesi FTSP-ITB, 1977, hal. 100-108.

bagi perhitungan kerangka dasar dari suatu daerah yang sangat luas.

A. Bidang Datar

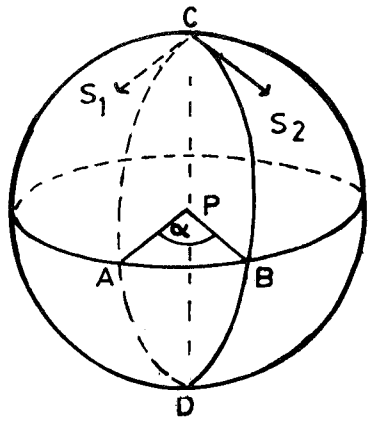
Perhitunggan yang dilakukan di atas bidang datar dengan sendirinya memanfaatkan ilmu ukur bidang datar, seperti trigonometri, dan aljabar biasa.



Gambar 2.12. Jarak sferis

B. Bidang Bola

Permukaan bola atau disingkat bola adalah tempat kedudukan titik-titik yang berjarak tetap dari suatu titik tetap lainnya. Titik tetap tersebut dinamakan pusat bola dan jarak tetap dari titik tersebut dinamakan jari-jari atau radius bola. Dari pengetahuan tentang bola tersebut, selanjutnya juga dikenal lingkaran yang merupakan irisannya dengan suatu bidang datar. Apabila bidang datar tersebut melalui pusat bola, maka irisannya disebut lingkaran besar. Irisan lainnya disebut irisan kecil ataupun irisan paralel. Melalui dua titik A dan B pada bola dapat dibuat sebuah lingkaran besar. Panjang busur dari A ke B dalam arah panah dinamakan jarak sferis dari A ke B. Dengan demikian jarak sferis adalah jarak terpendek ppada permukaan bola



Gambar 2.13. Segitiga bola

Panjang busur atau jarak sferis tersebut dinyatakan dalam satuan sudut (o, ', ") atau satuan radial. Jarak ini sama besar dengan sudut yang berada di pusat lingkaran yang dibentuk oleh ujung-ujung busur dengan pusat lingkaran. Besar maksimumnya adalah 180 atau radial. Sedangkan yang dimaksud dengan sudut di antara dua lingkaran besar adalah sudut di antara kedua garis singung pada masing-masing lingkaran besar di titik potongnya.

Dari gambar terlihat bahwa sudut di antara lingkaran besar ber-

potongan di C dan D adalah yang dinyatakan oleh garis singgung S_1 dan S_2. Untuk mana S_1 menyinggung lingkaran besar pertama (L_1) dan S_2 menyinggung lingkaran besar ke dua (L_2) di titik C. Jadi sudut diantara L_1 dan L_2 adalah α yang sama dengan sudut APB, dengan panjang busur AC = BC = 90^0. Bila tiga titik A, B, dan C yang berada di atas permukaan bola dihubungkan oleh jarak sferis AB, AC dan BC, maka akan terbentuk segitiga bola ABC [7].

Sama halnya dengan ilmu ukur bidang datar, maka sisi-sisi di muka titik sudut yang bersangkutan diberi nama sama dan ditulis dengan huruf kecil (a,b,c). Salah satu rumus yang penting dan dipakai dalam Ilmu Ukur Tanah ini adalah rumus cosinus sisi, yaitu:

cos a = cos b. cos c + sin a. sin b. cos α,
cos b = cos a. cos c + sin a. sin c. cos ß, ... (2.4)
cos c = cos b. cos a + sin b. sin a. cos τ.

C. Bidang Ellipsoid.

Secara umum suatu ellipsoida dinyatakan dengan bentuk matematis sebagai berikut:

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} + \frac{z^2}{c^2} = 1$$

apabila ellipsoid tersebut diputar, maka akan didapatkan bentuk baru dengan jari-jari di equator tetap yaitu = a. Sedangkan c adalah jari-jari ke arah kutub ellipsoid. Apabila ditinjau satu irisan vertikal dari sebuah ellipsoid, maka akan

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{a^2} + \frac{z^2}{c^2} = 1$$

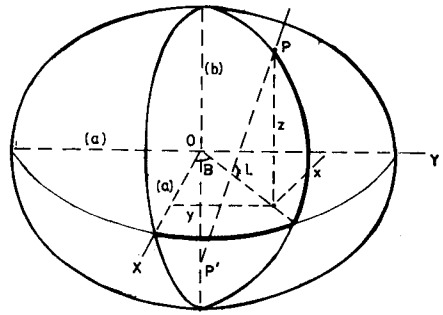
didapatkan sebuah ellips dengan besaran a sebagai jari-jari sumbu panjang, dan b sebagai jari-jari sumbu pendek. Kedua unsur ini akan memberikan hubungan laju perubahan jari-jari di eqautor terhadap jari-jari ke kutub, yang dikenal dengan pegepengan dan eksentrisitas. Kedua besaran ini dinyatakan sebagai:

Pegepengan : $f = (a - b)/a$ ..... (II.4)
eksentrisitas : $e = \sqrt{\{(a^2-b^2)/a^2\}}$ ..... (II.5a)
atau $e^1 = (a^2 - b^2)/b^2$ ..... (II.5b)

Sebagaimana halnya dengan perhitungan di atas bola yang selalu memanfaatkan bantuan jari-jarinya, maka untuk dapat berhitung di atas permukaan ellipsoid juga diperlukan jari-jari sebagai

7) Indra Sinaga & Koesdiono, *Dasar-Dasar Matematika untuk Geodesi*, LN 6.05 Bandung : Dept. Geodesi ITB, 1979.

unsur pembantu. Unsur-unsur ini dinamakan jari-jari lengkung meridian (M), lengkung normal (N), geosentris (c) dan jari-jari rata-rata (r).



Gambar 2.14. Ellipsoid putar

Jari-jari lengkung meridian:

$M = \{a(1-e^2)\} /(1-e^2 \sin^2\phi)^{1.5}$ ..... (2.6a)

Jari-jari lengkung normal:

$N = a/ \sqrt{(1-e^2 \sin^2\phi)}$ ..... (2.6b)

Jari-jari geosentris:

$c = a(1-0.5\, e^2 \sin^2 \phi + 0.5\, e^4 \sin^2 \phi$ ..... (2.6c)

Jari-jari rata-rata:

$r = \{a\sqrt{(1-e^2)}/ (1-e^2 \sin^2.\phi)$ ..... (2.6d)

2.2.3. Analisis Hasil

Dalam pengukuran dan pemetaan tanah dikenal tiga (3) jenis kesalahan yang selalu terdapat dalam setiap pengukuran, yaitu salah besar *(gross error),* salah sistematis *(systematic error)* dan salah kebetulan *(accidental error).*

Kesalahan besar atau yang lazim dikenal sebagai *blunder* umumnya mempunyai kuantitas yang cukup mencolok dibandingkan harga ukuran lainnya. Hal ini umumnya terjadi disebabkan kelalaian pengukur, sehingga sebaiknya dicoret dari data ukuran

Contoh: Hasil pengukuran terhadap jarak antara titik P dan titik Q yang dilakukan sebanyak 5 kali adalah sebagai berikut:
97.55
97.54
97.75 ← perbedaan terdapat pada desimal pertama di belakang koma!
97.53
97.56

Apabila ketelitian yang diharapkan adalah pada desimal kedua di belakang koma, maka hasil pengukuran yang ketiga bergerak cukup jauh dari pengukuran lainnya. Sehingga hasil ukuran ini sebaiknya dicoret dari data ukur. Rata-rata ukuran adalah 0.25 (97.55+97.54+97.53+97.56) = 97.545.

Sesuai dengan namanya, maka salah sistematis adalah kesalahan yang disebabkan oleh kesalahan atau penyimpangan yang terjadi pada sistem yang sepatutnya diacu. Misalnya penyimpangan yang terjadi sebagai akibat dari saat pengukuran yang berbeda pada pengukuran tinggi matahari. Pada pengukuran sudut jurusan awal umumnya diambil data ketinggian matahari, baik pada pagi maupun sore hari. Sebagai akibatnya, temperatur, tekanan, dan kelembaban udara akan berbeda pada kedua saat pengukuran tersebut. Kesalahan sistematis yang terjadi dapat dikoreksi melalui koreksi refraksi. Jelas kesalahan tersebut terjadi sebagai akibat terjadinya pergeseran sistem yang berakibat kepada hasil pengukuran. Karena dapat dihitung, maka salah sistematis ini dapat dikoreksikan kepada hasil ukuran yang bersangkutan.

Kesalahan yang terakhir adalah salah kebetulan, yaitu yang terjadi sebagai akibat dari sesuatu yang tidak dapat diatasi dan sangat kecil. Namun hal ini dapat dilihat dengan adanya perbedaan hasil ukuran terhadap sebuah obyek, sekalipun salah *blunder* telah dicoret dan salah sistematis telah dikoreksikan. Kesalahan kebetulan ini tetap tinggal di dalam hasil ukuran. Namun hasil ukuran rata-rata dengan variasi yang terdapat padanya sudah masuk di dalam toleransi yang diperlukan.

2.3. Penyajian data

Setelah seluruh data bersih di atas diolah sesuai dengan aturan yang berlaku, maka pada tahap penggambaran juga terdapat tiga hal yang patut mendapat perhatian, yaitu distorsi pada sistem proyeksi, skala peta dan simbol yang berlaku umum.

Masalah distorsi peta umumnya terjadi apabila bidang referensi hitungannya bukan bidang datar atau dengan perkataan lain luas daerah pemetaan cukup besar.

2.3.1. Proyeksi Peta

Hal ini berkaitan dengan pemilihan bidang referensi hitungan di atas, dimana untuk pemetaan yang menggunakan metoda Ilmu Ukur Tanah ini dapat dipilih bidang datar sebagai referensi tempat berhitung. Namun bagi pemetaan daerah yang sangat besar, seperti yang telah dijelaskan di atas, selalu berkaitan dengan geoid dan ellipsoid. Dengan demikian jelaslah bahwa posisi titik-titik yang dihasilkan masih terletak di atas bidang referensi hitungan. Untuk maksud pemetaan, hal ini belumlah selesai karena masih perlu menyatakan titik-titik tersebut di atas peta atau bidang datar. Usaha yang dilakukan selalu memerlukan aturan matematis tertentu, yaitu yang merupakan unsur-unsur sebenarnya di atas ellipsoid dan unsur-unsur korespondensinya di atas bidang datar. Sehingga jelaslah, hasil terakhir ini menyatakan posisi titik-titik di atas bidang datar. Di dalam usaha pemetaan, maka pemindahan titik-titik tersebut haruslah mampu dilakukan dengan kesalahan (distorsi) yang sekecil mungkin. Usaha pemindahan ke bidang datar tersebut dikenal dengan nama proyeksi peta, dan merupakan hasil perpaduan persamaan-persamaan differensial dengan memperhatikan sifat distorsi.

Secara umum dapat dikatakan, bahwa proyeksi peta bermaksud "memindahkan" pola atau unsur-unsur dari suatu permukaan ke permukaan yang lainnya dengan menggunakan aturan matematik tertentu sehingga tercapai suatu keadaan yang diinginkan. Secara khusus di dalam praktek pemetaan proyeksi peta bermaksud memindahkan unsur-unsur titik, garis dan sudut dari permukaan bumi ke bidang datar yang dimaksud (peta) dengan cara dan aturan matematik tertentu sehingga tercapai keadaan yang diinginkan.[8)]

Dipandang dari sudut distorsi, maka proyeksi peta terdiri dari tiga jenis, yaitu:

a. Proyeksi konfrom[9)]
   Dalam proyeksi ini sudut perpotongan antara dua buah garis di atas permukaan bumi dipertahankan sama. Artinya jika pada suatu titik di atas permukaan bumi terdapat dua garis lengkung yang berpotongan sebesar sudut α, maka proyeksinya di atas peta juga memberikan sudut sebesar α juga. Namun kelengkungan garis di atas permukaan bumi tidak sama dengan kelengkungan garis yang sama di atas peta.
b. Proyeksi *equidistant.*
   Proyeksi ini mempertahankan jarak yang digambar dengan menggunakan panjang sebenarnya *(true scale).*

8) Umaryono Purworahardjo. "Hitungan dan Proyeksi Geodesi II (Proyeksi Peta)", LN 2.01., Jur. Geodesi ITB, 1986.

9). Josef Soenarjo, "Nota Tentang Proyeksi Polyeder dan Proyeksi Mercator". Makalah dalam Pengabdian. Jur. Geodesi FTSP-ITB, 1977, hal. 1-17

c. Proyeksi *equivalent.*

Di sini unsur luas yang dipertahankan tetap sama baik dipermukaan bumi, maupun di atas peta.

Secara umum dapat dituliskan hubungan titik P (L,P) di atas ellipsoid dengan titik P(x,y) yang sama di atas peta adalah sebagai berikut:

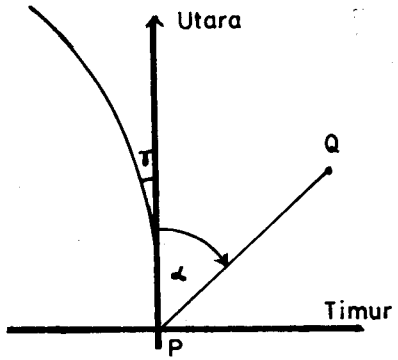
$x = x(L,P)$
$y = y(L,P)$
$L = L(x,y)$
$P = P(x,y)$

Dalam praktek sehari-hari, hitungan koordinat tersebut tidak selamanya dilakukan di atas ellipsoid atau memakai sistem koordinat geografis (L,P). Dalam kasus ini unsur-unsur hitungan di atas ellipsoid langsung dipakai dalam perhitungan dan setelah selesai baru dipindahkan ke atas permukaan datar. Namun dalam kasus lainnya, sering pula dilakukan hitungan dengan menggunakan sistem koordinat kartesis (x,y). Artinya unsur-unsur hitungan yang dipakai haruslah sudah di dalam sistem proyeksi yang dipilih tersebut. Konversi unsur yang terdapat di atas ellipsoid dapat dilakukan dengan memberikan koreksi atau reduksi sehingga menjadi unsur-unsur di atas sistem proyeksi.

Unsur jarak di atas ellipsoid (d_e) dapat dikonversi menjadi jarak di proyeksi (d_p) dengan memperhitungkan faktor perbesaran *(scale factor).* Sehingga didapatkan hubungan sebagai berikut:

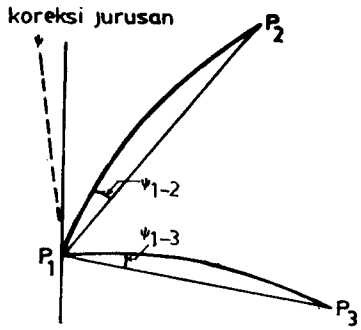
$$d_p = k \cdot d_e \quad \text{.....} \quad (2.8)$$

Dalam hal ini faktor perbesaran dihitung sesuai dengan sistem proyeksi yang dipilih. Sama halnya dengan arah-arah horizontal di atas ellipsoid perlu mendapat koreksi agar menjadi arah-arah di atas permukaan bidang datar. Dengan demikian azimut astronomis pada titik awal kerangka perlu dikoreksi untuk menjadi sudut jurusan di atas permukaan proyeksi.



Gambar 2.15. Konvergensi meridian

Terdapat dua jenis koreksi yang berperan pada azimut astrono-mis tersebut, yaitu konvergensi meridian (δ) dan koreksi arah (ψ) horizontal. Koreksi konvergensi meridian (δ) diakibatkan arah meridian pada ellipsoid tidak sama dengan arah meridian di atas peta. Meridian ellipsoid selalu konvergen ke kutub, sedangkan meridian peta saling sejajar. Sudut yang terbentuk di antara kedua jenis meridian tersebut dinamakan koreksi konvergensi meridian. Koreksi arah horizontal atau koreksi jurusan dapat digambarkan sebagai berikut: Andaikan di atas permukaan bumi terdapat dua buah titik p_1 ke P_2. Seandainya kita dapat berjalan lurus dari P_1 ke P_2 maka artinya kita berjalan melalui irisan normal. Irisan normal pada penggambaran akan terlihat menjadi sebuah garis lengkung. Sudut yang terbentuk di antara lengkungan ini dengan garis penghubung lurusnya adalah koreksi jurusan (ψ) yang dimaksud.



Gambar 2.16. Koreksi sudut jurusan

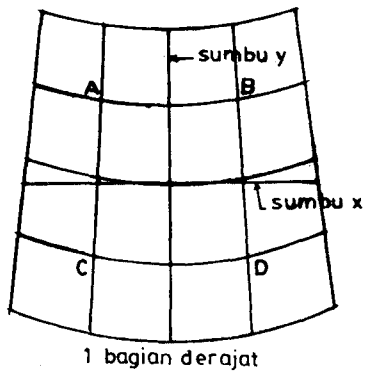
Dengan demikian jika terdapat tiga buah titik di atas sebuah permukaan (bola atau ellipsoid), maka setiap sisi sudutnya diproyeksikan konform, sehingga masing-masing sisi mengidap salah jurusan ψ_{12} dan ψ_{13}. Besarnya koreksi jurusan pada sudut tersebut adalah:

$$\psi = \psi_{13} - \psi_{12} \quad \text{.....} \quad (2.9)$$

Di bawah ini akan diuraikan dua jenis proyeksi peta yang umum dipakai sampai saat ini dalam pekerjaan konstruksi, yaitu proyeksi polyeder yang menggunakan permukaan kerucut sebagai bidang proyeksi, dan proyeksi Mercator yang memanfaatkan permukaan silinder dalam pemetaannya. Secara fisik kedua benda tersebut mempunyai permukaan yang datar (rata) sehingga apabila dihamparkan akan menjadi bidang datar yang diperlukan dalam pemetaan. Namun pelaksanaan proyeksinya tetap menggunakan kaidah-kaidah hubungan matematis, yang terdapat di antara kedua permukaan tersebut, yaitu di antara permukaan bidang hitung (datar, bola dan ellipsoid) dengan permukaan bidang proyeksi yang dipilih.

A. Proyeksi Polyeder

Sebagaimana disinggung di atas, pada proyeksi ini semua meridian akan tergambar konvergen ke arah jurusan kutub, sedangkan lingkaran paralel akan konsentris mulai dari khatulistiwa ke arah kutub yang bersangkutan. Sifat proyeksi ini adalah konform dan *equidistant* sepanjang paralel tengahnya. Sehingga satu bagian derajat dalam proyeksi ini dinyatakan dengan luas peta 20 x 20. Apabila pada satu bagian derajat dibuatkan peta dengan skala 1 : 25.000, maka akan didapatkan 16 lembar peta, apabila skalanya diperkecil misalnya 1 : 50.000, maka akan didapatkan 4 lembar peta. Sistem koordinat yang terdapat di dalam peta tersebut adalah dengan menempatkan masing-masing lembar pada salah satu kwadrannya. Dengan demikian sumbu Y menyatakan meridian tengah yang melalui wilayah yang bersangkutan, sedangkan sumbu X berimpit dengan paralel tengahnya. Terhadap masing-masing lembar peta, selanjutnya dibuatkan sumbu-sumbu yang sejajar dengan sumbu bagian derajat yang bersangkutan. Jelas terlihat konvergensi meridian akan semakin mengecil apabila sisi kerangkanya berada dekat meridian tengah. Untuk peta yang tidak terlalu teliti, hal ini dapat ditinggalkan, namun bagi pemetaan teliti, maka besar penyimpangan ini dapat dihitung dengan menggunakan rumus yang menggunakan selisih bujur (δB) antara meridian tengah dengan titik tempat azimut terletak dengan lintang (L) titik pusat bagian derajat yang bersangkutan.



Gambar 2.17. Proyeksi Polyeder

$$\delta = \delta B \sin L \quad \text{..... (2.10)}$$

Untuk menjamin peta yang konform, maka terhadap sisi juga perlu diberikan koreksi jurusan (Ψ). Dengan demikian apabila dilakukan pengukuran azimut terhadap suatu sisi kerangka, maka besarnya azimut di peta Polyeder (A') dibandingkan dengan azimut (A) hasil pengukuran di atas permukaan bumi adalah:

$$A' = A \pm \delta + \psi \quad \text{..... (2.11)}$$

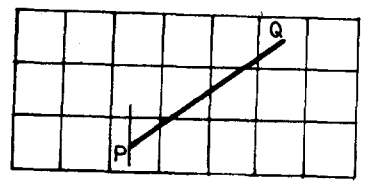
Di samping kedua koreksi tersebut, juga patut diperhatikan perbesaran yang terdapat pada jarak yang terproyeksi (d). Hal ini dengan sendirinya akan terjadi, yaitu sebagai akibat transformasi dari bidang lengkung ke atas bidang datar. Apabila perbesaran tersebut dinyatakan sebagai m, maka jarak di peta (d^1) atau di muka bumi (d) dapat dihitung sebagai berikut:

$$d = d' + m.d$$
$$d' = d - m.d \quad \text{..... (2.12)}$$

Untuk jenis proyeksi ini perbesaran relatif yang terjadi sangat kecil, yaitu untuk jarak 30 km hanya mencapai 1.10^{-6}m.

B. Proyeksi Mercator

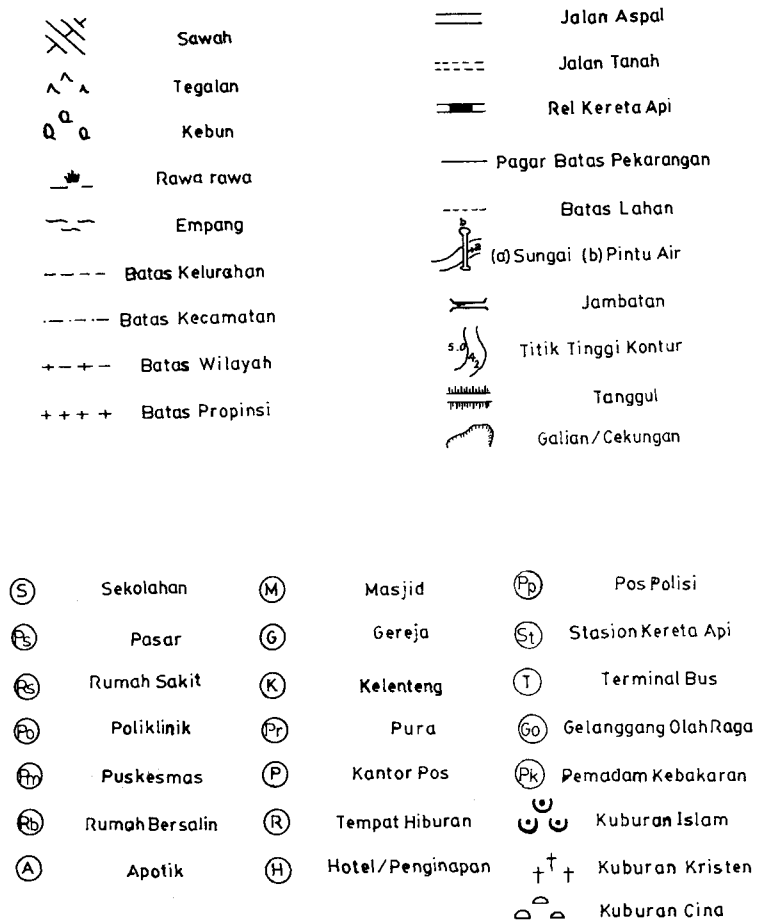
Proyeksi ini adalah proyeksi silinder tegak, sehingga meridian tergambar sejajar dan lingkaran paralel tergambar tegak lurus kepada meridian tersebut di atas. Dua buah sifat proyeksi Mercator yang paling menonjol adalah bahwa proyeksinya konform dan *equidistant* sepanjang khatulistiwa. Demikian pula sejajarnya meridian menyebabkan sembarang garis akan memotongnya dengan azimut yang sama besar, jadi garis tersebut dinamakan loxodrome. Di lain pihak kesejajaran ini juga menyebabkan tidak terdapatnya konvergensi meridian pada proyeksi Mercator. Namun koreksi jurusan tetap muncul.



Gambar 2.18 Proyeksi Mercator

2.3.2. Skala Peta

Pemilihan dan pemakaian skala peta yang bagaimana pun akan selalu melibatkan pemotongan angka *(truncation error)* dan kesalahan pembulatan *(rounding error)*. Hal inilah yang selalu menjadi sandungan bagi para pemakai peta dalam merencanakan pekerjaan yang dilakukannya di atas peta tersebut. Kesalahan ini sangat mudah terjadi, apabila diingat peta perencanaan umumnya memakai skala



Gambar 2.19 contoh simbol peta

1000, sedangkan ketebalan pena gambar paling kecil adalah 0.1 mm. Hal ini berarti untuk setiap titik memungkinkan terjadinya kesalahan sebesar 10 cm di atas permukaan tanah. Sehingga patut dimaklumi, bahwa pemakaian peta dengan skala makin kecil akan semakin mengundang kesalahan.

2.3.3. Simbol Peta

Faktor ketiga dalam proses penyajian data ini adalah pemilihan simbol yang akan dipakai dalam penyajian data.

Simbol ini terdiri dari dua jenis, yaitu simbol kualitatip yang menyatakan bentuk sesuai atau diinterpretasikan sesuai dengan bentuk aslinya dan simbol kuantitatip yang menyatakan sesuatu dalam bilangan dan huruf.

2.4. Rangkuman 2

Dari uraian di atas jelaslah bahwa proses pembuatan sebuah peta mengalami tiga tahapan besar, yaitu pengambilan, pengolahan dan penyajian data. Masing-masing tahapan ini masih membutuhkan berapa urutan penelitian agar, didapatkan hasil yang terbaik. Pada tahap pertama, yaitu pengambilan data atau pengukuran data ketelitian hasil pengukuran ditekankan pada juru ukur, peralatan yang dipakainya, serta alam yang mempengaruhi hasil pengukuran tersebut. Ketiga subyek kesalahan ini masing-masing mungkin mengidap kesalahan besar *(gross erorr, blunder)* atau salah sistematis bahkan salah kebetulan *(accidental error)*.

Pada tahap kedua, pemetaan berkaitan dengan kesalahan yang tak dapat dielakkan, namun dapat dipilih sesuai dengan kondisi yang dibutuhkan. Reduksi pengukuran ke atas referensi ukuran (geoid) dan selanjutnya terpaksa dialihkan ke atas permukaan referensi hitungan (bidang datar, bola ataupun ellipsoid) akan menghasilkan nilai-nilai baru yang terkoreksi. Semua data tersebut selanjutnya memerlukan pengaturan agar didapatkan harga-harga yang paling cocok *(plausible)*, dan proses ini dilakukan dengan teknik perataan *(adjustment of computation)*. Pada akhir tahapan ini hitungan perataan akan juga memberikan hasil analisis mengenai pengukuran yang dilakukan.

Tahapan ketiga yang terbagi dalam tiga bagian yang membahas transformasi hasil hitungan yang masih di atas referensi hitungan ke atas bidang proyeksi yang dipilih. Beberapa jenis bidang proyeksi

dapat dipilih sesuai dengan kebutuhan yang diperlukan, selanjutnya data-data tersebut sudah terletak dan dapat digambarkan di atas lembar peta (dua dimensi). Hal ini juga berarti penggambaran yang berkaitan dengan skala dan simbol yang berkaitan.

2.5. Latihan 2

1. Faktor yang paling dominan dan berpengaruh dalam mencapai ketelitian hasil suatu pengukuran adalah:

   a. ketrampilan juru ukur dan peralatan
   b. ketrampilan juru ukur dan keadaan alam
   c. keadaan alam dan peralatan yang baik
   d. ketrampilan juru ukur, peralatan yang baik dan alam yang menunjang

2. Sumbu optis selalu dikaitkan dengan garis bidik, karena:

   a. selalu sejajar
   b. wakil garis bidik
   c. mudah diteliti
   d. tidak ada hubungannya

3. Gejala sinar yang berpengaruh pada pengukuran di antaranya gejala paralaks, yaitu yang disebabkan oleh penempatan bayangan yang tidak pada reticule yang tersedia. Gejala ini sesungguhnya tidak perlu terjadi jika seandainya pengukur melakukan pengaturan pada:

   a. fokus dan benang diafragma
   b. lensa dan gelas diafragma
   c. koreksi paralaks
   d. bayangan

4. Perbedaan yang terdapat di antara nivo kotak, tabung, Horrebow dan tunggang, terletak pada:

   a. besar ketelitian
   b. ketelitian dan kemiringan
   c. arah kemiringan
   d. semuanya tidak benar.

5. Setiap juru ukur pasti mengidap kecenderungan yang spesifik, selain dari kecenderungan umum. Kedua kesalahan ini berkumulasi menjadi salah perorangan *(personal error)*. Bagian yang dapat ditera dan menjadi kurva salah perorangan adalah:

   a. emosi juru ukur
   b. situasi dan lingkungan
   c. kecenderungan juru ukur
   d. kecenderungan umum

6. Penempatan ke posisi tengah gelembung nivo mempunyai kaitan dengan garis gaya gravitasi di titik yang bersangkutan dalam hal:

   a. menentukan garis bidik
   b. menentukan kemiringan alat
   c. menentukan bidang nivo
   d. menentukan arah gravitasi

7. Bidang referensi ukuran yang dipilih adalah berdasarkan tinggi permukaan air laut rata-rata dalam keadaan tidak terganggu *(mean sea level)* dan perluasannya menjadi geoid. Bidang permukaan ini diperlukan sebagai:

   a. tempat proyeksi hasil ukuran
   b. referensi hasil ukuran
   c. bidang khayal
   d. tak ada yang benar

8. Bidang referensi hitungan baik bidang datar, bola ataupun ellipsoid diperlukan karena:

   a. tidak ada bidang lain
   b. mudah dipakai
   c. model matematisnya sederhana
   d. prosedur yang menghaskan

9. Perbedaan yang terdapat di antara referensi hitungan dan referensi ukuran dalam pemetaan, yaitu:

   a. masalah acuan ukuran yang dipakai
   b. masalah acuan hitungan yang dipakai
   c. masalah acuan ukuran dan hitungan yang dipakai
   d. semuanya tidak benar

10. Dalam pelaksanaan pemetaan perlu dibedakan antara kedua referensi tersebut, disebabkan oleh:

    a. hasil ukuran berada pada acuan yang beragam
    b. hitungan berada di atas bidang yang tidak teratur
    c. kombinasi a dan b
    d. semuanya tidak benar

11. Reduksi dan koreksi berulang diberikan pada setiap ta hapan pemetaan, karena pengaruhnya pada desain di atas peta tersebut, memerlukan:

    a. hitungan inversi
    b. pengandaian bidang peta sebagai permukaan bumi
    c. memberikan toleransi pengukuran yang ketat
    d. para perencana mengikuti proses pembuatan peta

12. Salah *blunder* pada hasil pengukuran yang berasal dari alam, alat dan manusia kalaupun terdapat, maka sebagai data hitungan telah:

    a. dikoreksi
    b. direduksi
    c. diabaikan
    d. dicoret

13. Urutan reduksi data mulai dari pengukuran sampai menjadi data bersih, selalu diikuti dengan seksama, sekalipun hitungan dilakukan di atas permukaan referensi:

    a. bidang datar
    b. bola
    c. ellipsoid
    d. tidak ada yang benar

14. Kegunaan bidang proyeksi dalam pemetaan adalah:

    a. memindahkan hasil hitungan dari referensi ukuran ke atas bidang peta
    b. memindahkan hasil ukuran ke atas bidang hitungan yang baru
    c. memindahkan hasil hitungan ke atas bidang hitungan selanjutnya
    d. memindahkan hasil hitungan dari atas bidang referensi hitungan ke atas bidang peta

15. Beberapa jenis proyeksi di antaranya adalah yang mempertahankan sudut sama besar baik di atas permukaan bumi maupun di atas permukaan peta, yaitu:

    a. proyeksi equidistant
    b. proyeksi equivalent
    c. proyeksi konform
    d. tidak ada yang benar

16. Proyeksi polyeder adalah konform dan *equidistant* sepanjang

paralel tengahnya, yang berarti kemungkinan terjadinya distorsi peta di tengah sistem koordinat adalah:

a. masuk toleransi
b. cukup besar
c. cukup kecil
d. tidak ada

17. Konvergensi meridian terdapat di proyeksi Polyeder dan tidak terdapat pada proyeksi Mercator disebabkan oleh:

a. Kekonvergensian terikat dari jenis proyeksi yang dipakai
b. proyeksi Polyeder hanya memetakan sebagian permukaan bumi
c. proyeksi Mercator memetakan seluruh permukaan bumi
d. kedua proyeksi konform ataupun equidistant

18. Garis loxodrome terjadi pada proyeksi mercator disebabkan oleh:

a. azimut yang sama
b. tidak konvergen
c. konformitas
d. tidak ada yang benar

BAB III
DASAR-DASAR PENGUKURAN TANAH

Beberapa pendefinisian yang merupakan dasar-dasar dari teknik pengukuran dan pemetaan tanah akan disepakati dalam bab ini. Juga akan ditetapkan beberapa notasi dan istilah yang akan selalu dipakai, baik dalam teknik hitungan maupun uraian selanjutnya.

3.1. Pengertian dan Notasi

Dalam bagian ini akan diberikan beberapa notasi, definisi serta rumusan dasar yang selalu berulang dipakai dalam uraian selanjutnya.

3.1.1. Titik

Terdapat beberapa perbedaan maksud dari pernyataan sebuah titik, namun semuanya mencirikan penerapannya. Sekalipun demikian semua pernyataan tersebut selalu mengacu kepada posisi dan letak titik yang bersangkutan.

a. Titik Awal *(Fundamental Point)*

Dari pernyataan bahwa posisi titik selanjutnya dapat ditentukan apabila posisi titik sebelumnya sudah diketahui. Dengan demikian titik yang paling awal perlu diketahui, baik dengan definisi, diberikan ataupun diukur.

b. Titik Ikat

Titik-titik yang bersama-sama membangun kerangka dasar baik horizontal maupun vertikal. Titik ini disebarkan ke seluruh sektor daerah pengukuran dengan ketelitian yang setara. Titik ikat ini dapat dianggap sebagai wakil pemetaan di wilayah sekitarnya. Dengan demikian ketelitian pemetaan dari masing-masing sektor yang membentuk gambaran daerah tersebut menjadi sama tinggi.

c. Titik Detail

Titik ini merupakan elemen atau unsur gambar yang patut di-

pindahkan ke atas peta. Titik-titik detail ini diikat oleh titik ikat yang terdekat padanya.

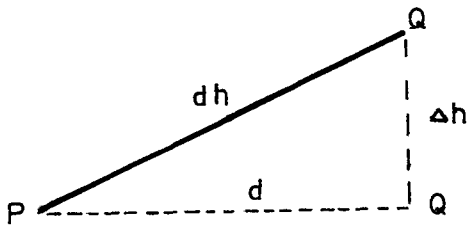
d. Titik Datum

Titik fundamental yang didefinisikan secara astronomi geodesi merupakan datum (yang diberikan) sebagai awal dari perhitungan selanjutnya.

3.1.2. Jarak (d)

Panjang adalah jarak terpendek yang menghubungkan dua buah titik dan dihitung sesuai dengan permukaan tempat kedua titik tersebut terletak.

Satuan yang berlaku adalah Satuan Internasional (SI), yaitu dengan meter (m) sebagai satuan utama. Jarak mendatar adalah jarak penghubung lurus terpendek yang terletak di atas bidang horizon pengamatan.



Gambar 3.1. Jarak antar titik

a. Jarak Mendatar (d)

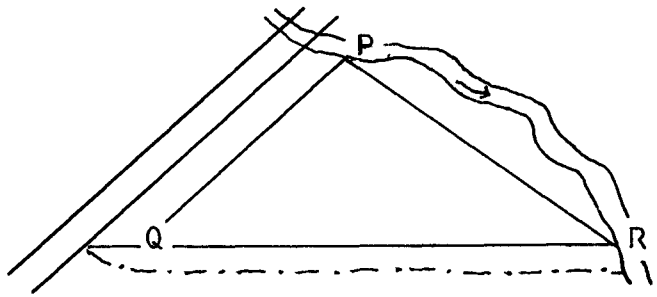
Jarak ini adalah hasil pengukuran panjang yang dilakukan di atas permukaan horizon (cakrawala) dari salah satu titik ujungnya ke proyeksi titik lainnya ke atas permukaan tersebut.

b. Jarak Miring (h)

Jarak ini sesungguhnya tidak lain dari beda tinggi, yang merupakan panjang pengukuran dari proyeksi titik ke dua di atas permukaan horizon titik pertama sampai ke titik ke dua itu sendiri.

3.1.3. Luas (Area = A)

Luas adalah ukuran suatu daerah dalam 2 dimensi di atas permukaan datar dan mempunyai satuan dasar hektar (HA).

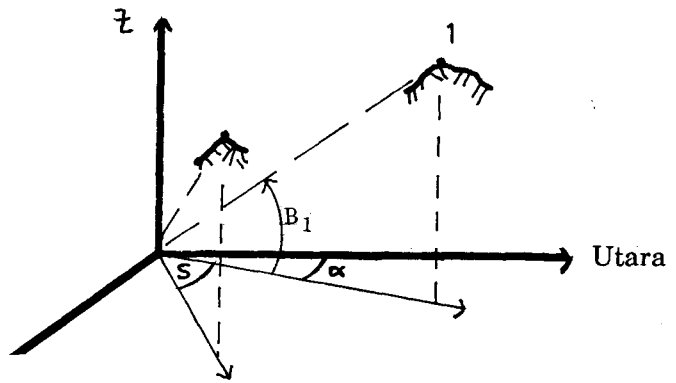


Gambar 3.2. Luas daerah pengukuran

Contoh: Luas daerah tersebut =
Luas segitiga PQR +
Luas bentuk di antara sisi PQ dan Jalan +
Luas bentuk di antara sisi QR dan sungai +
Luas bentuk di antara sisi PR dan hutan

3.1.4. Sudut (s)

Adalah selisih dua buah arah dari dua buah target di titik pengamatan.



Gambar 3.3. Sudut mendatar dan vertikal

Selisih kedua arah ini mempunyai satuan sebagai berikut,
Satuan derajat dengan pecahannya menit dan detik.

1 derajat (1°) = 60 detik (60'), dan
1 menit (1) = 60 detik (60")

Satuan grid (g) dengan pecahannya centi grid (cg) dan centicenti grid (cc).
1 grid (1^g) = 100 centigrid (100^{cg}) dan
1^{cg} = 100 centi-centigrid (100^{cc}).
Satuan radial dinyatakan dalam derajat, menit, dan detik radial.
1 derajat radial = $57^0.295779$,
1 menit radial = 3437'. 7667 menit, dan
1 detik radial = 206264. 8 detik

a. Sudut Mendatar (s)
Sudut ini terletak di bidang horizon pengamat dan terletak di antara kedua titik proyeksi target yang bersangkutan, (lihat gambar 3,3)

b. Sudut Vertikal (h)
Sudut ini terletak pada bidang vertikal di titik pengamat. Terdapat dua jenis bacaan sudut vertikal, yaitu yang dimulai dari bidang horizon dan sering dinyatakan sebagai sudut h. Sudut vertikal lainnya dimulai dari titik zenith dan dinyatakan dengan sudut z. Dengan demikian sudut z adalah komplemen dari sudut h atau terdapat hubungan sebagai berikut:

$$h = 90^0 - z$$

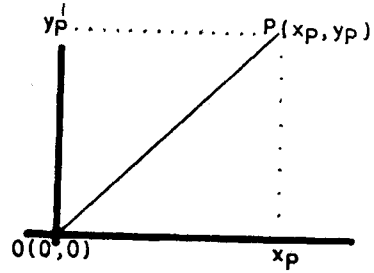
c. Sudut jurusan (α)
Selisih dua buah arah antara arah Utara dengan arah titik yang bersangkutan di titik pengamatan. Sudut ini juga sering disebut sebagai azimuth dan dinyatakan dengan huruf Yunani pertama, yaitu α, (lihat gambar 3,3)

3.1.5. Sistem Koordinat
Sistem koordinat siku-siku mengandung unsur absis yang bergerak sepanjang sumbu X dan unsur ordinat yang bergerak sepanjang sumbu Y.

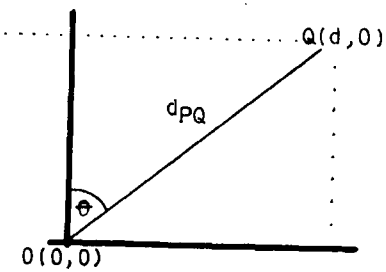
Sistem koordinat polar dinyatakan dengan unsur sudut yang diukur dari sumbu x positip berlawanan dengan arah jarum jam serta unsur jarak di antara kedua buah titik yang bersangkutan.

Sistem koordinat geografis dinyatakan dengan unsur sudut jurusan dan jarak dari pusat sistem ke titik yang bersangkutan.

Perbedaan kedua sistem yang terakhir ini terdapat pada unsur sudut yang dimulai pada lengan sistem koordinat yang berbeda namun pada kwadran yang sama.

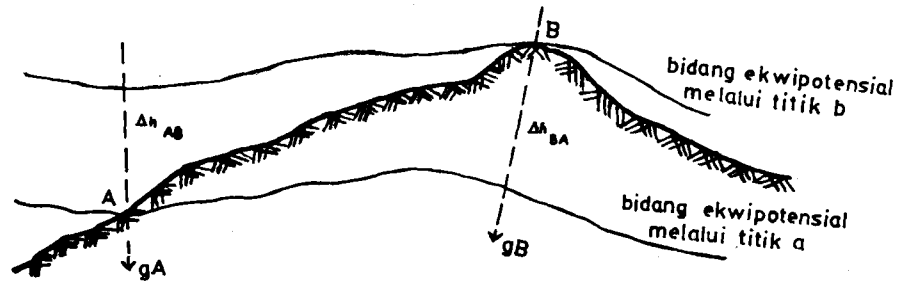


Gambar 3-4a. S.K. Kartesis



Gambar 3-4b. S.K. Polar

3.1.6 Beda Tinggi (h)
Adalah jarak antara dua buah bidang ekuipotensial tempat kedua titik tersebut terletak dan sepanjang garis gaya gravitasi yang melalui salah satu titik tersebut.



Gambar 3.5. Beda tinggi

3.1.7. Skala Peta
Skala memiliki tiga arti berbeda, namun berkaitan dengan gambaran yang disajikan oleh peta tersebut. Di samping itu skala dapat dikategorikan dalam tiga kelas, yaitu:

a. Skala kecil yang lebih kecil dari 1:25.000
b. Skala menengah di antara 1:10.000 dan 1:25.000, dan
c. Skala besar yang lebih besar dari 1:10.000.

a. Perbandingan Panjang
Pengertian yang paling mendasar adalah satu satuan panjang di atas peta setara dengan perkalian bilangan skala tersebut di atas tanah.

b. Beda Kontur

Hubungan skala dengan garis kontur umumnya dinyatakan dengan membagi angka skala dengan nilai 2.000. Hasil dari pembagian tersebut dinyatakan sebagai beda kontur.

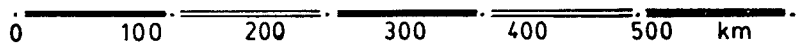
c. Ketelitian Gambar

Harga skala tersebut sesungguhnya merupakan angka tingkat ketelitian gambar yang dihasilkan.

Pernyataan skala umumnya dapat dinyatakan dengan tiga cara, yaitu,

1. Dengan kalimat, misalnya: 1 cm adalah 1 meter.

Dengan kalimat ini seseorang dapat mengerti, bahwa panjang ukuran satu (1) centimeter di atas peta adalah sama dengan panjang ukuran linier satu (1) meter di atas tanah.



Gambar 3.6. Skala dengan unsur garis

2. Dengan penggambaran:

Suatu garis yang merupakan gabungan dari unsur-unsur garis yang mempunyai panjang yang sama dan dapat dipakai dalam menyiratkan pernyataan skala tersebut. Dari contoh pada gambar 3.6, maka skala ini menyatakan, bahwa untuk setiap penggal garis mempunyai ukuran sama dengan 100 km di atas permukaan tanah.

3. Dengan angka, misalnya 1:10.000.

Pernyataan skala ini berarti untuk 1 bagian panjang di atas peta sama dengan 10.000 kalinya di atas permukaan tanah dengan satuan panjang yang sama.

3.2. Dasar Hitungan Koordinat

Hasil pengukuran yang telah diambil dari lapangan, selanjutnya dihitung sesuai dengan aturan yang berlaku. Dalam hal ini, hitungan koordinat adalah transformasi argumen yang dilakukan di antara kedua sistem koordinat yang berlaku di atas, yaitu di antara sistem koordinat siku-siku dan sistem koordinat polar atau sebaliknya.

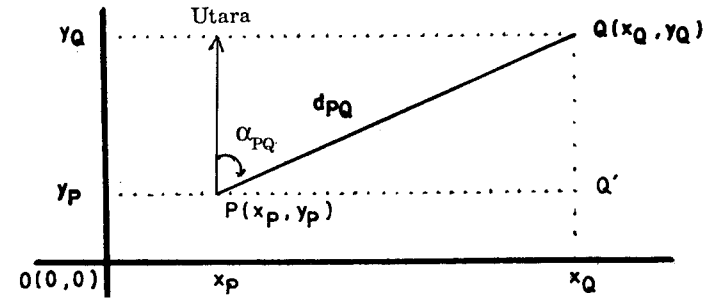
Terdapat sedikit perbedaan perhitungan antara Ilmu Ukur Tanah dan hitungan trigonometri, yaitu putaran kwadran pada Ilmu Ukur Tanah dimulai dari sumbu Y positip dan berputar searah dengan jarum jam. Hal ini mengingat, bahwa umumnya tepi kiri lembar peta diatur sejajar dengan arah Utara/Selatan. Sedangkan pada hitungan trigonometri dimulai dari sumbu X positip dan bergerak berlawanan dengan arah jarum jam.

Walaupun demikian nilai dan tanda yang berpengaruh pada fungsi trigonometris tersebut tetap sama pada nomor kwadran yang sama. Ingat bahwa hanya kwadran I dan III saja yang mempunyai kedudukan yang sama, sedangkan kwadran II dan IV mempunyai kedudukan yang berlawanan. Umumnya kesalahan pengertian ini, akan berakibat kesalahan tanda pada hasil akhir setiap perhitungan, yang berarti apabila terdapat akumulasi perhitungan, maka hasilnya pun akan mengalami kesalahan.

Fungsi / Kwadran	Sin	Cos	TC
I	+	+	+
II	+	—	—
III	—	—	+
IV	—	+	—

Gambar 3.6. Tabel fungsi trigonometris pada ilmu ukur tanah

Dari gambar di bawah ini jelas terlihat, bahwa titik O, P dan Q mempunyai koordinat tertentu dengan titik O sebagai titik pusat salib sumbu siku-siku.

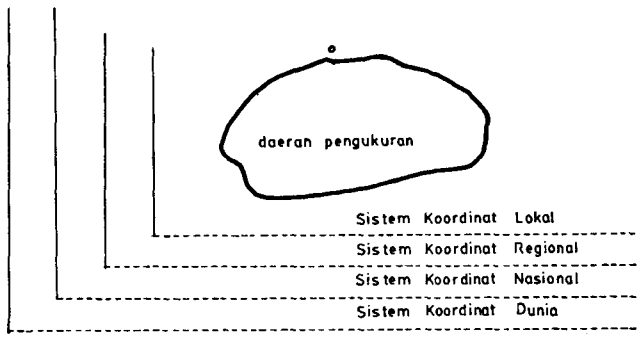


Gambar 3.8. Hitungan koordinat

Artinya semua titik yang berada di dalam sistem salib sumbu tersebut berorientasi kepada titik O sebagai titik awal perhitungannya. Di dalam Ilmu Ukur Tanah selanjutnya titik awal tersebut selalu disebut sebagai titik fundamental ataupun titik datum.

Pemilihan titik fundamental bagi suatu pekerjaan pemetaan dapat dilakukan sesuai dengan pendefinisian yang dipilih sebelumnya, misalnya:

a. Sistem koordinat lokal, artinya titik fundamental bagi daerah pemetaan yang bersangkutan dipilih sembarang di sekitarnya.
b. Sistem koordinat regional, misalnya suatu pengukuran dengan koordinat awalnya dinyatakan dalam sistem koordinat yang ada, (mis sistem koordinat DKI).
c. Sistem koordinat nasional, artinya titik fundamental bagi daerah pemetaan yang bersangkutan diikatkan kepada sistem koordinat nasional.
d. Sistem koordinat dunia



Gambar 3.9. Titik awal pengukuran

Untuk penjelasan selanjutnya dianggap bahwa pemetaan yang akan dilakukan berorientasi pada koordinat lokal. Dalam segitiga PQQ' terlihat bahwa sudut jurusan garis PQ sama dengan sudut PQQ'. Apabila jarak PQ adalah d_{pq}, maka dengan hubungan trigonometris didapatkan:

a. $(x_Q - x_P) = d_{PQ} \sin(\alpha_{PQ})$ atau $\delta_{PQ} = d_{PQ} \sin \alpha_{PQ}$
sehingga : $x_Q = x_P + d_{PQ} \sin \alpha_{PQ}$ ..... (3.1)

b. $(y_Q - y_P) = d_{PQ} \cos(\alpha_{PQ})$ atau $\delta_{PQ} = d_{PQ} \cos \alpha_{PQ}$
sehingga : $y_Q = y_P + d_{PQ} \cos \alpha_{PQ}$ ..... (3.2)

c. Apabila rumus 3.1 dan 3.2. dikuadratkan dan dijumlahkan akan didapatkan hubungan sebagai berikut:
$(x_Q - x_P)^2 + (y_Q - y_P)^2 = d_{PQ}^2$ ($\sin^2\alpha_{PQ} = \cos^2\alpha_{PQ}$), maka
$d_{PQ} = (x_Q - x_P)^2 + (y_Q - y_P)^2$ .....(3.3)
d. Apabila rumus 3.1 dan 3.2 digabung, maka akan didapatkan harga sudut jurusan dari garis yang dibentuk oleh titik-titik P dan Q di atas.

$$\frac{(y_Q - y_P) = d_{PQ} \sin \alpha pq}{(x_Q - x_P) = d_{PQ} \cos \alpha_{PQ}} \quad \text{atau } tg\ \alpha pq = \frac{\delta X_{PQ}}{\delta Y_{PQ}} \text{ , maka}$$

$$\alpha_{PQ} = \text{arc } tg \left\{\frac{\delta X_{PQ}}{\delta Y_{PQ}}\right\} \quad \text{.....(3.4)}$$

3.3. Rangkuman 3

Sekalipun tidak terlalu banyak terminologi yang dipakai dalam bahasan pemetaan ini, namun sebagaimana yang diuraikan di atas tetap dirasakan perlu pembakuan beberapa notasi dan definisi. Demikian pula pada bagian kedua dibahas pengertian mengenai dasar-dasar hitungan koordinat yang langsung menggunakan notasi yang telah ditetapkan tersebut.

Notasi dan definisi yang diberikan mengenai titik mencoba menggali perbedaan dari bebeberapa sifat titik yang masing-masing memiliki nama tersendiri, mereka adalah titik awal, ikat, detail dan titik datum. Demikian pula dengan jarak yang dapat dibedakan dengan jarak mendatar dan jarak miring. Selanjutnya ditunjukkan pengertian luas. Demikian pula dengan sudut dapat diklasifikasikan dalam bentuk perbedaan satuan pengukuran dan sudut dilihat dari sifatnya sendiri, yaitu sebagai sudut mendatar (horizontal), sudut vertikal serta sudut jurusan. Definisi kelima adalah mengenai sistem koordinat yang umumnya dipakai secara bergantian dalam pembahasan nantinya, yaitu sistem koordinat kartesis dan polar. Juga dibahas secara sederhana pengertian masalah beda tinggi ditinjau dari perbedaan bidang ekupotensial. Pendefinisian yang terakhir adalah mengenai skala peta yang berpengaruh pada ketelitian gambar serta perhitungan beda kontur.

Pada bagian kedua diuraikan kaitan antara definisi yang dibakukan di atas dengan pemakaiannya selanjutnya dalam sistem perhitungan posisi titik, yang dikenal dengan nama hitungan koordi-

nat. Ditunjukkan dua pasang rumus dasar, yang selalu dipakai bergantian, yaitu sepasang transformasi dari hasil ukuran ke posisi di atas peta, dan sepasang lainnya yang menyatakan transformasi dari posisi peta ke data ukuran di atas permukaan tanah.

3.4. Latihan 3

1. Titik memiliki arti yang penting dalam menyatakan posisi dalam pemetaan. Titik datum dan fundamental memiliki pengertian yang hampir sama, yaitu di dalam hal:

   a. awal pengukuran
   b. titik nol pengukuran
   c. awal perhitungan
   d. titik nol perhitungan

2. Titik ikat (I) berbeda dengan titik detail (i), di dalam hal:

   a. i merupakan turunan I
   b. i adalah elemen gambar
   c. I ketelitiannya sama
   d. I adalah titik kerangka

3. Panjang mempunyai arti yang ganda disebabkan oleh:

   a. ketelitian yang rendah
   b. bidang permukaan yang berbeda
   c. kumpulan titik
   d. letaknya pada bidang tertentu

4. Luas dari suatu daerah yang diukur tidak selalu mempunyai bentuk geometri sederhana, oleh sebab itu sering dibentuk menjadi bentuk yang lebih kecil, seperti:

   a. segitiga
   b. trapesium
   c. segitiga atau trapesium
   d. segitiga dan trapesium

5. Sudut dinyatakan baik sebagai selisih proyeksi dari dua buah arah yang terletak di bidang horizontal maupun yang terletak pada bidang vertikal. Pada sudut vertikal arah acuannya terletak pada:

   a. bidang horizontal
   b. bidang vertikal
   c. arah horizontalnya
   d. arah zenit pengamat

6. Sudut jurusan berorientasi ke arah utara dapat ditunjukkan oleh kompas. Utara di atas peta berbeda dengan utara kompas dan hal ini disebabkan oleh:

a. konvergensi meridian
b. konvergensi grid
c. penyimpangan arah utara
d. sejajarnya utara peta

7. Perbedaan sistem koordinat kartesis (SKK) dengan sistem koordinat polar (SKP) terletak pada pernyataan komponen sistem koordinat yang berbeda, yaitu:

a. keduanya terletak di permukaan bumi
b. keduanya terletak di atas permukaan peta
c. salah satu terletak di salah satu permukaan
d. tidak ada perbedaan

8. Perbedaan tinggi di antara bidang equipotensial yang melalui titik A dan B, dapat menyatakan tinggi ke dua titik tersebut. Hal ini sulit untuk dilakukan karena:

a. melalui garis normal terhadap bidang equipotensial di titik tersebut
b. garis tersebut adalah khayal
c. sulit menentukan bidang equipotensial tersebut
d. kekurangan data pengukuran

9. Skala peta berguna untuk menentukan ketelitian peta, beda kontur dan perbandingan panjang yang terdapat di antara peta dan permukaan tanah. Namun pernyataan tersebut muncul karena pada awalnya dikaitkan dengan:

a. maksud peta sendiri
b. maksud si pembuat peta
c. tersedianya tempat penyimpanan
d. kegunaan peta

10. Arah nol pada sistem koordinat polar berbeda dengan pada sudut jurusan. Namun hal ini tidak mengubah sistem perhitungan yang berlaku dalam fungsi trigonometri secara umum. Hal ini disebabkan oleh:

a. susunan kwadran tetap
b. perbandingan sisi tetap
c. hasil perbandingan sisi tetap
d. tidak ada yang benar

11. Titik nol pengukuran suatu daerah ukur dapat dikaitkan dengan

sistem koordinat yang lebih luas, demikian selanjutnya. Titik nol di suatu daerah terpencil umumnya diikatkan melalui pengukuran:

a. pengikatan ke kerangka yang ada
b. mendefinisikannya
c. menera dari peta
d. mengukur secara astronomis

12. Transformasi dari permukaan tanah ke peta dinyatakan oleh argumen jarak dan sudut jurusan yang diukur di lapangan. Hal ini dinyatakan dengan:

a. perubahan absis dan ordinat
b. perubahan jarak dan azimuth
c. diukur dan menghitungnya
d. semuanya salah

13. Sebuah titik P memiliki koordinat P (-10; +20), apabila sudut jurusan ke titik Q adalah 60^0 dengan jarak 100 meter. Koordinat titik Q adalah:
a. (+50; +140)
b. (-50; +160)
c. (+40; +160)
d. (+40, +140)

14. Transformasi dari peta ke atas permukaan tanah dapat dilakukan dengan:

a. memperbanyak jarak dengan skala
b. perubahan absis dan ordinat
c. perubahan jarak dan azimuth
d. semuanya tidak ada yang benar

15. Dua buah titik memiliki koordinat masing-masing sebagai berikut, titik P(10;10) dan titik Q (-10; -10), maka jarak dan sudut jurusannya adalah:

a. $20\sqrt{2},\ 135^0$
b. $20\sqrt{2}, 45^0$
c. $40, 135^0$
d. $40, 45^0$

16. Penggunaan dan pengertian skala dinyatakan dalam:

a. ketelitian penggambaran
b. beda kontur
c. perbandingan jarak
d. kombinasi ketiganya

17. Beda kontur dinyatakan oleh bilangan skala dengan konstanta beda kontur dalam bentuk:

a. bilangan skala dibagi konstanta
b. bilangan skala dikali konstanta
c. bilangan skala ditambah konstanta
d. tidak ada yang benar

18. Ketinggian garis kontur yang pertama didapat dengan memperbandingkan:

a. beda kontur dibandingkan dengan tinggi terendah
b. perkalian beda kontur dengan bilangan integer dan dibandingkan dengan tinggi terendah
c. perkalian beda kontur dengan bilangan riil dibandingkan dengan tinggi terendah
d. tidak ada yang benar

19. Ketelitian gambar juga dapat disiratkan dari skala peta yang ditentukan, yaitu melalui:

a. besarnya beda kontur
b. besarnya nilai skala
c. besarnya luas peta
d. besarnya bilangan skala

BAB IV
KONSEP DASAR PEMETAAN

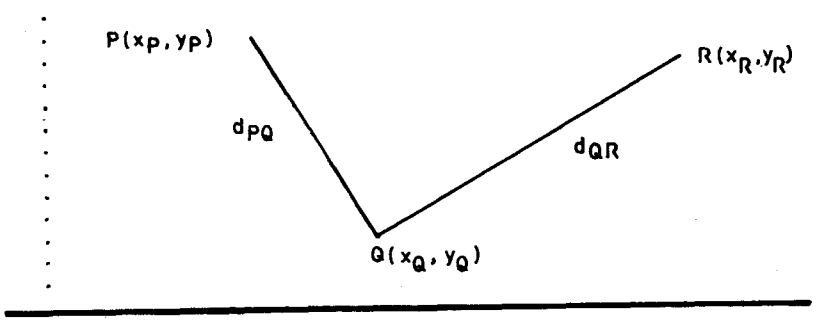
Pada dasarnya kerja yang diperlukan untuk pemetaan suatu daerah selalu dilakukan dalam dua tahapan, yaitu penyelenggaraan kerangka dasar sebagai usaha penyebaran titik ikat dan pengambilan data titik detail yang merupakan wakil gambaran fisik bumi yang akan muncul di peta nantinya. Seluruh proses ini diakhiri dengan tahapan penggambaran.

4.1. Kerangka Dasar Pemetaan

Sebagaimana telah disiratkan dalam uraian yang terdahulu, koordinat titik di lapangan dinyatakan dalam tiga komponen, yaitu absis, ordinat dan tinggi titik yang bersangkutan. Posisi sebaran titik ikat yang mengacu kepada ordinat dan absis dinyatakan sebagai kerangka dasar horizontal. Sedangkan ketinggian dari titik ikat tersebut diukur secara tersendiri dan kumpulannya dinyatakan sebagai kerangka dasar vertikal.

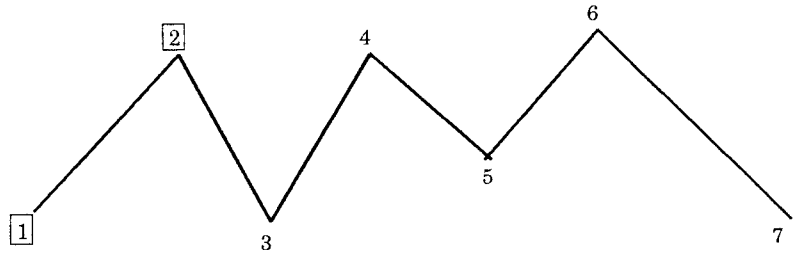
4.1.1. Kerangka Horizontal

Apabila diperhatikan rumus dasar ilmu ukur tanah, dapat disimpulkan bahwa koordinat titik selanjutnya hanyalah didapatkan apabila koordinat titik sebelumnya telah diketahui. Dengan demikian apabila masalahnya terus ditarik mundur, maka yang menjadi pangkal



masalah adalah koordinat titik dan sudut jurusan yang paling awal. Artinya kedua besaran ini haruslah tetap diketahui sebelumnya. Pengertian **diketahui** di sini dapat diartikan sebagai diberikan *(given)* yang maksudnya adalah telah diukur dalam pengukuran yang lalu, dan ukuran tersebut tidak terkait dengan ukuran yang diselenggarakan sekarang. Atau pernyataan diketahui tersebut dapat pula diartikan sebagai dinyatakan sembarang.

Apabila diketahui koordinat dua buah titik, maka untuk menentukan koordinat titik-titik lainnya dibutuhkan sudut dan jarak yang dibentuk antara titik yang bersangkutan. Bentuk kerangka dasar yang seperti ini dikenal dengan nama poligon, yaitu dengan melakukan



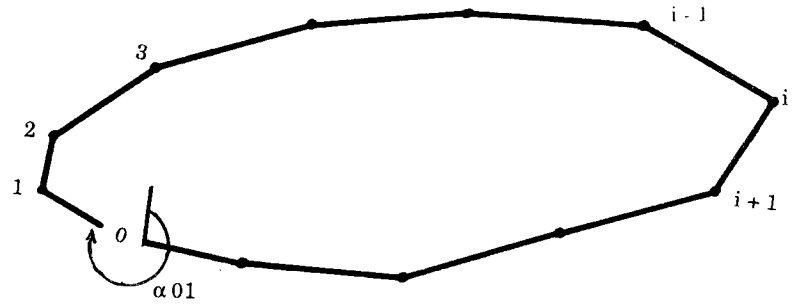
Gambar 4.2. Poligon dengan dua titik awal

pengukuran sudut dan jarak di antara titik-titiknya. Bentuk yang terlihat di bawah ini di namakan poligon terbuka.

Setiap pengukuran poligon perlu selalu disediakan titik-titik kontrol yang umumnya berada pada akhir dari jalur pengukuran tersebut. Cara lain yang juga selalu dipergunakan adalah dengan melakukan pengukuran kontrol pada beberapa titik yang dipilih. Pengukuran kontrol yang dilakukan adalah kontrol azimuth matahari yang diikatkan pada salah satu sisi yang terpilih.

Bentuk lain dari pengukuran poligon ini adalah tertutup seperti gambar 4.3. Pada pengukuran ini sudut banyak tersebut membentuk suatu segi banyak. Hal yang sama dilakukan juga, yaitu pengukuran sudut dan jarak di antara titik-titiknya. Dalam bentuk kerangka sebagai poligon tertutup ini, pengukuran kontrolnya dapat dilakukan di titik awal saja, karena titik tersebut juga merupakan titik akhir dari pengukuran kerangka tersebut.

Metode dan teknik pengukuran kontrol ini terdapat pada mata kuliah khusus pada Jurusan Geodesi/Surveying, yaitu penyajian kerangka horizontal, astronomi geodesi ataupun pengukuran efek Doppler dari satelit Doppler. Pengukuran azimuth matahari meru-



Gambar 4.3. Poligon tertutup

pakan salah satu teknik pengukuran pada ilmu Astronomi Geodesi tersebut yang selalu dipakai oleh para surveyor dalam menentukan azimuth awal dari suatu kerangka poligon, serta dalam melakukan kontrol sudut yang dihasilkan dalam pengukuran tersebut.

Apabila ditinjau kembali rumus 1 dan 2, dalam bab yang terdahlu dan dipakaikan pada gambar 4.1, maka didapat hubungan:

$$X_Q = X_P + d_{PQ} \sin \alpha_{PQ}$$

$$Y_Q = Y_P + d_{PQ} \cos \alpha_{PQ}$$

Absis dan Ordinat titik P (titik terdahulu) diketahui, jarak diukur dan sudut jurusan garis PQ diketahui. Apabila titik P adalah titik awal, maka seperti yang didefinisikan pada bab III, maka koordinat titik P serta sudut jurusan awal tersebut dapat didefinisikan ataupun diukur.

Didefinisikan berarti dapat didefinisikan sembarang, sehingga seluruh koordinat mengacu kepada koordinat awal yang sembarang tersebut. Hal ini membuat peta tersebut dinamakan peta lokal. Namun dapat pula didefinisikan sebagai titik datum, yaitu yang diperoleh dengan penentuan posisi dan sudut jurusan astronomis. Apabila diukur, maka ini berarti titik tersebut diikatkan kepada titik-titik yang berada di sekitar wilayah pengukuran, sehingga sistem koordinat yang berlaku selanjutnya adalah sistem koordinat daerah sekitarnya. Peta tersebut terikat pada sistem peta yang lebih besar.

Apabila perhitungan dilanjutkan untuk titik R pada gambar 4-1 tersebut, maka data yang dimiliki adalah sudut di titik Q, jarak QR

dan sudut jurusan QP, yaitu kebalikan dari sudut jurusan PQ yang berselisih 180^0.

$$X_R = X_Q + d_{QR} \sin \alpha_{QR}$$

$$Y_R = Y_Q + d_{QR} \cos \alpha_{QR}$$

Besar sudut jurusan α_{QR} didapatkan dari hubungan yang terdapat di antara data ukuran yang tersebut di atas, yaitu:

$$\alpha_{QR} = \alpha_{PQ} + s_{PQR} - 180^0$$

Demikian selanjutnya untuk setiap titik dalam kerangka dasar horizontal tersebut dapat ditentukan besar sudut jurusan yang diperlukan. Dari hubungan koordinat titik, jarak dan sudut jurusannya, maka akan dapat pula ditentukan koordinat titik-titik selanjutnya.

Contoh 4.1. : Kerangka horizontal
Dari hasil pengukuran kerangka pemetaan (poligon) ternyata hasil ukuran jarak BC dan CD telah hilang. Data yang tersisa adalah sebagai berikut:

Sisi	Panjang	Azimuth
AB	104,8	14° 31'
BC	?	319° 42'
CD	?	347° 15'
DE	91,4	5° 16'
EA	596,8	168° 12'

Ditanyakan: Panjang BC dan CD

Jawab: Koordinat titik B ditinjau dari titik A.
Ambil $X_A = 0{,}0$ dan $Y_A = 0{,}0$, maka

$X_B = X_A + d_{AB} \cdot \sin \alpha_{AB}$
$= 0 + 104{,}8 \sin (14^0\ 31')$
$X_B = 26{,}2693$

$Y_B = Y_A + d_{AB} \cdot \cos \alpha_{AB}$
$= 0 + 104{,}8 \cos (14^0\ 31')$
$Y_B = 101{,}4542$

Koordinat titik B : (26,2593 ; 101,4542)

Koordinat titik E ditinjau dari titik A

$\alpha_{AE} = 180^0 + \alpha_{EA}$; $\alpha_{AE} = 348^0\ 12'\ 0''$

$X_E = X_A + d_{AE} \cdot \sin \alpha AE$
$= 0 + 596{,}8 \sin 348^0\ 12'$
$X_E = -122{,}0432$

$Y_E = Y_A + d_{AE} \cdot \cos \alpha_{AE}$
$= 0 + 596{,}8 \cos 348^0\ 12'$
$Y_E = 584{,}1881$

Koordinat titik E : (-122,0432, 584,1881)

Koordinat titik D dari titik E :

Komplemen $\alpha_{AE} = 180^0 - \alpha_{EA} = 180^0 - 168^0\ 12'\ 0'' = 110\ 48'\ 0''$
$\alpha_{ED} = \alpha_{EA} + \alpha_{DE} + Komp_{AE} = 168^0\ 12'\ 0'' + (5^0\ 16'\ 0'' + 11^0\ 48'\ 0'')$
$\alpha_{ED} = 185^0\ 16'\ O''$

$X_D = X_E - d_{DE} \sin \alpha_{ED}$
$= -122{,}0432, + 91{,}4 \sin 185^0\ 16'$
$X_D = -130{,}4329$

$Y_D = Y_E + d_{DE} \cdot \cos \alpha_{ED}$
$= 584{,}1881 + 91{,}4 \cos 185^0 16'$
$Y_D = 493{,}1740$

Koordinat titik D: (-130,4329, 493,1740)

Jarak lurus BD: $d_{BD} = \sqrt{(X_D - X_B)^2 + (Y_D - Y_B)^2}$

$= \sqrt{(-130{,}4329 - 26{,}2693)^2 + (493{,}1740 - 101{,}4542)^2}$

$d_{BD} = 421{,}9004$

$$tg\ \alpha bd = \frac{X_B - X_D}{Y_D - Y_D} = \frac{26{,}2693 - (130{,}4329)}{101{,}4542 - 493{,}1740}$$

$= 0{,}40003645$

$\alpha_{BD} = -21^0\ 48'\ 11{,}5'' = 360^0\ 0'\ 0'' - 21^0\ 48'\ 11{,}5''$
$\alpha_{BD} = 338^0\ 11'\ 48{,}4''$

Sudut di titik B: $S_B = \alpha_{BD} - \alpha_{BC} = 338^\circ\ 11'\ 48{,}4'' - 319^\circ\ 42'\ 0''$
$= 18^\circ\ 29'\ 48{,}4''$

$\alpha_{CB} = \alpha_{BC} - 180^\circ\ 0'\ 0'' = 319^\circ\ 42'\ 0'' - 180^\circ\ 0'\ 0''$
$\alpha_{CB} = 139^\circ\ 42'\ 0''$

Sudut titik C (1) : $S_{C1} = (360 - \alpha_{CD}) + \alpha_{CB}$
$= (360^\circ - 3470\ 15') + 1390\ 42' = 1520\ 27'\ 0''$

Sudut titik C(2) : $S_{C2} = 180^\circ - (152^\circ\ 27' + 18^\circ\ 29'\ 48{,}4'')$
$= 9^\circ\ 3'\ 11{,}6''$

Panjang BC dan CD didapat dari perbandingan rumus sinus:

$$\frac{d_{BD}}{\sin S_{C1}} = \frac{d_{BC}}{\sin S_{C2}}$$

$$d_{BC} = \frac{d_{BD} \sin S_{C2}}{\sin S_{C1}} = \frac{421{,}9004 . \sin 9^\circ\ 3'\ 11{,}6''}{\sin 152^\circ\ 27'}$$

$d_{BC} = 143{,}5321$

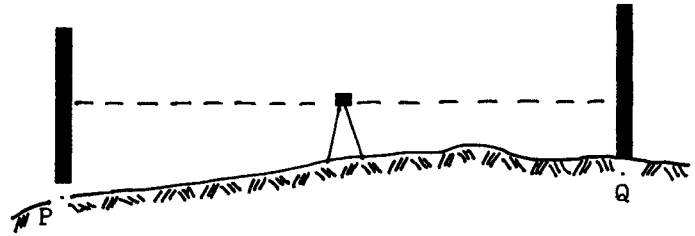
$$\frac{d_{BD}}{\sin S_{C1}} = \frac{d_{CD}}{\sin S_B}$$

$$d_{CD} = \frac{d_{BD} \sin S_B}{\sin S_c 1} = \frac{421{,}9004 . \sin 18^\circ\ 29'\ 48{,}4''}{\sin 152^\circ\ 27'}$$

$d_{CD} = 289{,}3880$

4.1.2. Kerangka Vertikal

Pada kerangka dasar yang sama juga dapat ditentukan ketinggian dari masing titik ikat tersebut. Hal ini umumnya dilakukan dengan pengukuran beda tinggi antar titik ikat tersebut.



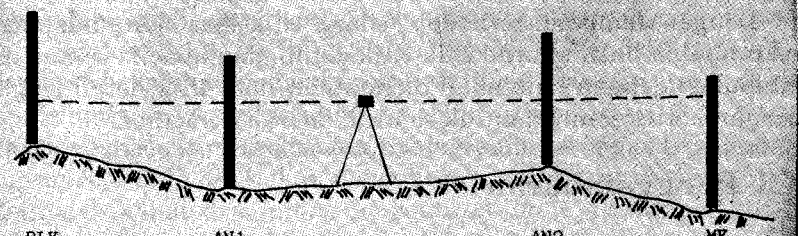
Gambar 4.4. Beda tinggi antara dua titik ikat

Dari gambar ini jelas didapatkan hubungan ketinggian antara titik P dan Q, yaitu:

$HQ = HP = \delta HPQ$

Hal ini dapat disuratkan sebagai, tinggi titik sesudahnya didapat dari tinggi titik sebelumnya ditambah dengan beda tinggi (δhPQ) kedua titik tersebut.

Contoh 4.2. : Kerangka Vertikal
Pengukuran dilakukan menggunakan empat rambu dengan dua rambu antara (AN1 dan AN2).

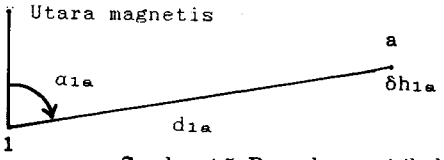


BLK	ANTARA	MUKA	NAIK	TURUN	TINGGI	KETERANGAN
0,510					107,520	Di atas tanah
	3.720			3,210	104,310	Pojok 1 bangunan
	0,920		2,800		107,110	Pojok 2 bangunan
		2,560		1,640	105,470	Pojok 3 bangunan

CATATAN :
BLK = tinggi benang tengah pada rambu belakang
ANTARA = tinggi benang tengah pada rambu antara
MUKA = tinggi benang tengah pada rambu muka
NAIK = posisi tanah menaik
TURUN = posisi tanah menurun, dan
TINGGI = tinggi titik di atas permukaan tanah

4.2. Pengambilan Titik Detail

Pengukuran titik detail dilakukan dengan mengambil data dari permukaan fisis bumi yang dianggap pantas untuk dijadikan wakil gambaran tersebut di atas peta. Dengan sendirinya gambaran ini letaknya harus tentu terhadap referensi yang telah ada, yaitu kerangka dasar di atas. Dengan demikian titik ikat tersebut dapat langsung menjadi acuan dari titik-titik detail yang berada di sekitarnya.



Gambar 4.5. Pengukuran titik detail

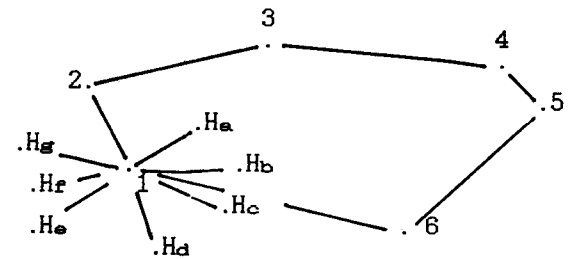
Dari gambar 4.5, terlihat bahwa data yang diambil dalam pengukuran titik detail ini adalah:

a. sudut jurusan titik ikat 1 dengan titik detail a, (α_{1a}),
b. jarak di antara titik ikat dan titik detail (d_{1a}), dan
c. beda tinggi antara kedua titik tersebut (δh_{1a}).

Dengan demikian terhadap sebuah titik ikat akan didapatkan sekumpulan hasil ukuran titik-titik detail, dan apabila semua data ditabulasi dengan baik akan didapatkan data titik detail lengkap dengan ketinggiannya untuk seluruh daerah pemetaan.

4.3. Penggambaran

Dari data jarak yang dikonversi sesuai dengan skala gambar yang berlaku, disertai dengan data sudut jurusan yang terukur, maka titik detail dapat digambar lengkap dengan ketinggiannya.



Gambar 4.6. Penggambaran peta

Catatan:

1. Beda kontur terikat kepada bilangan skala,
2. Tinggi garis kontur yang pertama adalah kelipatan beda kontur dengna bilangan riil yang terkecil, yang dapat digambarkan di sekitar ketinggian yang paling rendah.

4.4. Rangkuman 4

Dari bahasan yang terdahulu, dapat dihayati hubungan yang terdapat di antara titik-titik di dalam kerangka dasar pemetaan yang bersangkutan, baik dalam kedudukan sebagai titik ikat yang merupakan wakil wilayah pemetaan ataupun sebagai titik detail yang merupakan elemen gambar nantinya. Juga telah diketahui, bahwa pada pengukuran yang dilakukan dengan ketat sekalipun, tetap hasilnya akan mengidap kesalahan pengukuran. Hal ini juga jelas terurai pada bab kedua mengenai kesalahan pengukuran. Sekalipun demikian perhitungan koordinat yang dilakukan tetap tidak dapat dilakukan dengan menggunakan data yang masih mentah. Sebelum melakukan hitungan koordinat ataupun ketinggian titik-titik ikat, maka salah penutup pengukuran haruslah dipenuhi terlebih dahulu.

Kesalahan pada pengukuran sudut dikaitkan dengan pengukuran sudut jurusan awal, akhir ataupun kontrol (lihat bab ketujuh), sedangkan kesalahan pada pengukuran tinggi dianalisis perbedaan hasil pengukuran pergi dan pulang, (lihat bab keenam). Baik pada kerangka poligon yang sederhana, apalagi pada kerangka triangulasi yang rumit, selalu dilakukan pengukuran sudut jurusan kontrol di beberapa titik ikat, di samping pengukuran sudut jurusan pada titik akhir. Setiap pasangan pengukuran tersebut akan memberikan informasi yang berkaitan dengan toleransi yang harus dipenuhi dalam menerima hasil pengukuran tersebut.

Lain pula halnya dengan titik detail, pengukuran sudut jurusan, jarak dan beda tinggi dilakukan dengan maksud dan kepentingan bagi pengambaran nantinya. Sehingga pengukuran sudut jurusan dapat dilakukan dengan menggunakan jarum kompas (sudut jurusan magnetis), pengukuran jarak dan beda tinggi dapat dilakukan secara optis. Bahkan ketiga pengukuran tersebut dapat dilakukan secara sekaligus, cara tachymetri dengan menggunakan aturan perhitungan yang tidak terlalu rumit, (lihat bab kesembilan).

Semua data yang dihasilkan tersebut, selanjutnya digambarkan sesuai dengan proyeksi, skala dan simbul yang diperlukan. Penggam-

baran titik ikat jelas berbeda dengan titik detail karena sifat data yang dimilikinya, di mana data titik ikat merupakan argumen sistem koordinat kartesis (x,y,h) dan data titik detail merupakan argumen dari sistem koordinat geografis (α,d,h). Dengan demikian penggambaran titik ikat dapat dilakukan langsung di atas dengan menggunakan lembar kertas milimeter dengan mengambil sumbu-sumbunya sejajar dengan sisi kertas. Sedangkan penggambaran titik detail terikat kepada titik ikat yang bersangkutan dan digambar secara grafis berdasarkan data yang tersedia.

4.5. Latihan 4

1. Pada penetuan titik ikat kerangka horizontal didapatkan sudut jurusan αpq sebesar 135°. Jika koordinat titik P adalah (20;20), dan jarak antara PQ sebesar 100 meter, maka koordinat titik Q adalah:

   a. 90,7107; 90,7107
   b. -50,7107; -50,7107
   c. 90,7107; -50,7107
   d. -50,7107 ; 90,7107

2. Transformasi data dari sistem koordinat polar ke sistem koordinat kartesis, mencirikan pemindahan informasi dari:

   a. peta ke permukaan tanah
   b. peta ke peta
   c. tanah ke tanah
   d. permukaan tanah ke peta

3. Penentuan posisi awal untuk setiap kerangka yang besar di daerah yang terpencil selalu dilakukan dengan cara:

   a. pengikatan ke kerangka yang lebih besar
   b. pendefinisian sistem lokal
   c. pendefinisian sembarang
   d. pengukuran secara astronomis

4. Pada pengukuran titik kerangka vertikal didapatkan hasil pengukuran pergi adalah δh_{PQ}, dan hasil pengukuran pulang adalah δhqp, maka seharusnya:

   a. $\delta h_{PQ} = \delta h_{QP}$
   b. $\delta h_{PQ} - \delta h_{PQ}$
   c. $\delta H_{PQ} =/= \delta h_{QP}$
   d. tidak ada yang benar

5. Data yang dihasilkan dari pengukuran titik detail merupakan argumen dari sistem koordinat polar-geografis. Hal ini berkaitan dengan tata cara penggambaran yang dianut oleh titik ikat yang menggunakan sistem koordinat.

   a. sistem koordinat kartesis
   b. sistem koordinat polar
   c. sistem koordinat geografis
   d. tidak ada yang benar

6. Perbedaan pada teknik penggambaran bagi data kerangka dasar dan data titik detail disebabkan oleh karena perbedaan:

   a. ketelitian gambar
   b. maksud penggambaran
   c. argumen sistem koordinat
   d. alat yang dipakai

7. Beda kontur (BK) didapat dari hubungan skala dengan konstanta 2000, namun menentukan tinggi kontur yang pertama (TK_1) didapat dari hubungan beda kontur dengan bilangan bulat positip terkecil (n) dalam bentuk:

   a. $TK_1 = n.BK$
   b. $TK_1 > n.BK$
   c. $TK_1 < n.BK$
   d. tidak ada yang benar

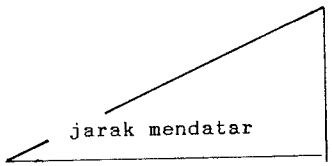
BAGIAN KEDUA
TEKNIK PENGUKURAN TANAH

TUJUAN INSTRUKSIONAL UMUM:
Dengan mempelajari bagian kedua ini diharapkan pembaca memiliki dasar-dasar pengetahuan mengenai *pengukuran dan perhitungan* unsur-unsur kerangka dasar, yaitu jarak, beda tinggi dan sudut yang diperlukan dalam pemetaan secara utuh.

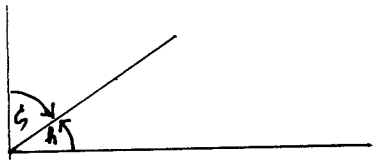
TUJUAN INSTRUKSIONAL KHUSUS:
1. Memberikan kemampuan membedakan ketiga jenis data yang perlu diukur dalam proses pemetaan.
2. Agar mampu melakukan identifikasi setiap jenis pengukuran, yaitu jarak, beda tinggi dan sudut yang diperlukan untuk penyelenggaraan kerangka dasar pemetaan.
3. Agar pembaca mampu membedakan pelbagai metoda pengukuran yang cocok dipakai, sesuai dengan keperluan daerah pengukuran setempat.
4. Pembaca mampu melakukan identifikasi pengukuran jarak, beda tinggi dan sudut, sesuai dengan peralatan yang tersedia serta penggunaannya.
5. Memberikan kemampuan melakukan identifikasi sebaran titik ikat yang diperlukan bagi pengambilan titik detail selanjutnya.
6. Agar pembaca mampu membedakan jenis kesalahan pengukuran serta melakukan eliminasi kesalahan yang diidapnya.

Sesungguhnya pada pengukuran tanah hanya terdapat dua buah unsur ukuran, yaitu jarak dan sudut. Selanjutnya unsur jarak dapat dibagi menjadi dua jenis pula, yaitu unsur jarak mendatar (d) dan jarak vertikal yang umumnya lebih dikenal dengan nama beda tinggi (Δ-H). Demikian pula dengan unsur sudut berkembang beberapa pengertian lainnya, seperti titik sudut pengamatan, sudut vertikal, sudut mendatar dan sudut jurusan.

Jenis pengukuran yang terdapat dalam pengukuran tanah ini adalah, pengukuran jarak, beda tinggi dan sudut. Pengembangannya



Gambar 5.1.a. Jarak



Gambar 5.1.b. Sudut

adalah, bahwa selain terdapat pengukuran jarak konvensional, yaitu yang dilakukan dengan menggunakan alat ukur jarak sederhana, seperti pita ukur dan juga terdapat jenis pengukuran jarak dengan menggunakan peralatan mutakhir seperti *Electronic Distance Meter (EDM)*. Pengukuran ini memanfaatkan pengukuran panjang gelombang elektromagnetis yang dipantulkan oleh sebuah atau seperangkat reflektor. Pada pengukuran beda tinggi juga terdapat beberapa jenis modifikasi sesuai dengan kegunaan hasil ukuran nantinya. Misalnya pengukuran untuk keperluan pemindahan beda tinggi saja, atau beda tinggi bagi keperluan galian dan timbunan dan lain sebagainya. Pada pengukuran sudut akan diuraikan jenis-jenis pengukuran sudut bagi kepentingan kerangka pemetaan nantinya. Seperti pengukuran sudut banyak (poligon), pengikatan ke muka dan ke belakang serta penentuan sudut jurusan.

Dalam penyelenggaraan kerangka dasar bagi pemetaan tersebut, umumnya ketiga jenis ukuran ini dikerjakan bersama-sama terhadap semua titik ikat yang disebar ke seluruh wilayah pengukuran. Maksudnya adalah agar didapatkan sebaran titik ikat yang memiliki ketelitian yang seragam dan berguna sebagai tolok ukur semua titik detail yang akan diambil untuk dipetakan nantinya. Hal ini bertalian erat dengan kegunaan titik detail tersebut, yaitu sebagai unsur (elemen) gambar di atas peta, sehingga patutlah diusahakan agar setiap "unsur gambar" memiliki ketelitian yang sama tinggi agar didapatkan pemetaan yang terbaik pada setiap wilayah peta.

Dengan demikian pada bagian ini akan diberikan tiga buah bab bahasan, yaitu pertama yang menyangkut pengukuran jarak mendatar yang merupakan bab kelima dari buku ini, bab keenam akan membahas pengukuran beda tinggi dengan pengkhususan pada pengukuran sipat mendatar. Bab terakhir dari bagian kedua ini adalah uraian mengenai konsep dan teknik pengukuran sudut, baik vertikal maupun horizontal.

BAB V
PENGUKURAN JARAK

Setelah dibicarakan mengenai masalah titik dan hitungannya secara mendalam, maka selanjutnya akan dibahas masalah pengukuran jarak, yaitu segala sesuatu yang menyangkut aspek lapangan yang berpengaruh pada hasil ukuran jarak itu sendiri. Selain dari kegunaan di atas, pengukuran jarak ini juga diperlukan bagi pemetaan linier yang akan dibahas dalam bagian ketiga. Memang pengukuran jarak ini terlihat sangat sederhana, namun pada pelaksanaannya sering mengalami kesalahan yang fatal dan berakibat pengukuran ulang yang sia-sia. Pada bagian akhir dari bahasan ini akan diuraikan secara singkat pengukuran dengan menggunakan alat ukur jarak elektromagnetis (EDM), disertai beberapa contoh pemanfaatannya dalam pekerjaan konstruksi.

5.1. Pendahuluan

Pada bagian awal dari masalah jarak ini akan diuraikan pengertian dasar dan teknik pengukuran yang diperlukan dalam mengatasi medan pengukuran yang beragam rupa dan ketinggiannya. Pelbagai peralatan modern seperti *Electronic Distance Meter (EDM)*, memang sudah banyak dipakai untuk pemetaan teliti, namun untuk daerah pemetaan yang cukup kecil ternyata pita ukur lebih efektif dipakai pada pengukuran jarak ini.

Suatu titik di lapangan umumnya ditandai dengan patok apabila tidak merupakan titik tetap, dan pilar apabila merupakan titik tetap. Pelbagai ukuran patok dan pilar umumnya dibuat sesuai dengan spesifikasi teknis yang dikeluarkan oleh pemberi pekerjaan tersebut. Sekalipun di lapangan terdapat beberapa jenis dan bentuk pilar, namun di atas lembar peta hanya terdiri dari beberapa simbol saja.

Pilar yang merupakan titik tetap tersebut dapat saja mempunyai koordinat baik dalam sistem tiga, dua ataupun satu dimensi saja. Pernyataan koordinat dari titik tersebut, juga dapat dilakukan baik dalam sistem koordinat siku-siku (x,y,z) ataupun sistem koordinat

polar, yang dikenal dengan koordinat geografis (L,B,h). Satuan dalam kedua sistem tersebut mempunyai arti sebagai berikut:

x dan B (bujur) adalah komponen arah Barat-Timur
y dan L (lintang) adalah untuk arah Utara-Selatan
z dan h (tinggi) adalah komponen arah vertikal

Untuk keperluan pemetaan suatu lokasi umumnya titik-titik kerangka dasarnya, selalu diikatkan kepada sistem koordinat yang telah baku, misalnya sistem koordinat nasional.

Dimensi	S.K.siku-siku	S.K.Geografis	Keterangan
1	Z	h	Tinggi
2	X,Y	L,B	Posisi horizontal
3	X,Y,Z	L,B,h	Posisi lengkap

Tabel 5-1 : Jenis koordinat kerangka

Untuk memenuhi maksud tersebut, maka telah disediakan titik-titik kerangka dasar horizontal dan vertikal yang memiliki ketelitian yang berbeda. Sehingga dalam pemakaian ataupun pemilihannya sebagai titik ikat akan selalu berkaitan dengan ketelitian pengukuran dan pemetaan yang diisyaratkan oleh pemberi pekerjaan.

Selain dari simbul kualitatif, juga simbol kuantitatif dipakai dalam menyatakan titik-titik ikat atau titik-titik kerangka dasar yang dicantumkan dalam lembar peta.

Contoh:

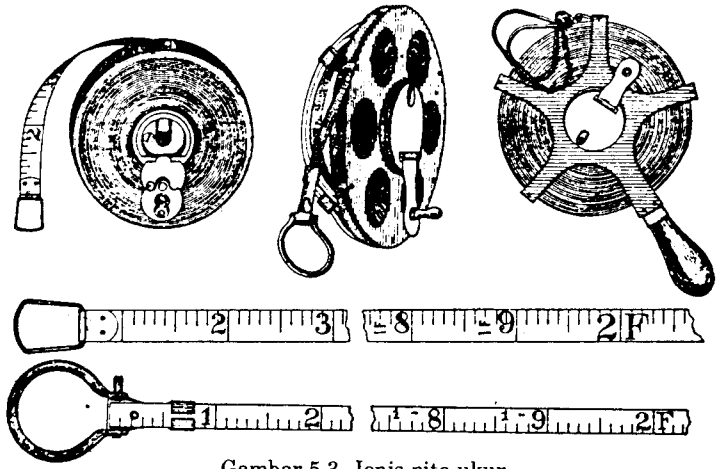
Nomor pilar	Ketelitian	Inverval jarak (km)	Keterangan simbol titik
P.111	Orde I	60 - 120	Primer no.111
S.123	Orde II	40 - 60	Sekunder no.123
T.234	Orde III	20 - 40	Tersier no.234
Q.345	Orde IV	5 - 20	Kwarter no.345

Gambar 5.2. Simbol pilar berdasarkan orde ketelitian

5.2. Peralatan Ukur Jarak

Dalam pengukuran garis lurus, alat ukur yang dipakai adalah pita ukur atau rantai ukur atau alat ukur jarak elektromagnetis. Untuk alat bantu dapat digunakan yalon dan prisma. Memang pada saat ini banyak dipakai alat ukur jarak elektronis yang mempunyai ketelitian yang tinggi. Namun pelaksanaan kerjanya sangat sederhana, demikian pula prinsip pengukurannya dapat dikatakan sama dengan pada pengukuran dengan alat-alat ukur di atas.

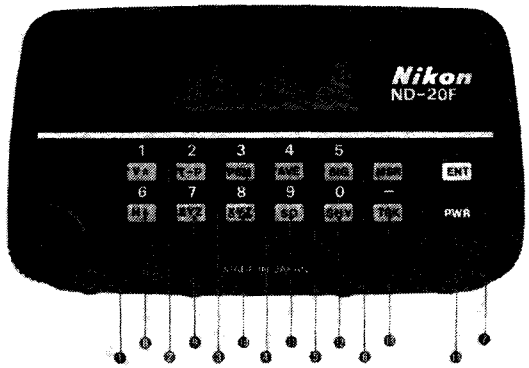
Prinsip kerja pada pembuatan garis lurus ataupun dengan maksud kumpulan garis-garis lurus dengan sudut tertentu dapat dilakukan dengan memanfaatkan prinsip-prinsip geometri. Pekerjaan ini umumnya dilakukan pada pembuatan lengkungan sebuah kurva pada desain jalan raya, ataupun pembuatan garis lurus yang panjangnya melebihi pita ukur itu sendiri.



Gambar 5.3. Jenis pita ukur

EDM *(Electronic Distance Meter)* adalah alat ukur jarak yang memanfaatkan gelombang elektromagnetik sebagai unsur ja-rang yang diukur. Untuk maksud tersebut diperlukan alat tambahan berupa reflektor yang berfungsi untuk mengembalikan gelombang elektromagnetik tersebut ke alat agar dapat dilakukan pemrosesan perhitungan jarang yang diukurnya. Dengan demikian alat ukur jarak ini memberikan informasi hasil ukurannya secara digital dan dengan sendirinya memiliki ketelitian yang tinggi pula.

1. tombol sudut vertikal
2. tombol suhu dan tekanan udara
3. konstanta prisma
4. tombol mode
5. tombol signal
6. sajian jarak ukuran
7. pemasukan suhu dan tekanan
8. tombol sudut mendatar
9. sajian koordinat ukuran
10. sajian koordinat pengamat
11. tombol *stake out*
12. tombol reduksi tanjakan
13. tombol pengukuran *tracking*
14. tombol *On / Off*



Gambar 5.4. Electronic distance meter

5.3. Pengukuran Jarak

Pengukuran yang paling sederhana dalam pekerjaan pemetaan adalah membuat garis-garis lurus. Walaupun demikian perlu juga dibahas di sini agar pelaksanaannya dapat dilakukan seefisien mungkin. Beberapa faktor yang terdapat di lapangan yang mungkin akan mempersulit pekerjaan tersebut, misalnya pada garis tersebut terdapat sebuah bangunan atau perbedaan relief di lapangan sangat menyolok dan lain sebagainya.

5.3.1. Garis Lurus Tanpa Rintangan

Untuk dapat membuat titik-titik sepanjang garis lurus di antara dua buah titik yang saling terlihat, dilakukan dengan pengertian, bahwa bayangan dari titik-titik yang terletak pada suatu garis lurus akan berimpit. Sehingga sekalipun titik-titik tersebut berada di luar kedua titik acuan tersebut, maka bayangannya akan tetap berimpit. Baik di luar ataupun di antara kedua titik yang akan diukur, prinsip bayangan berimpit ini dapat diterapkan selama bayangan tersebut dapat saling terlihat.

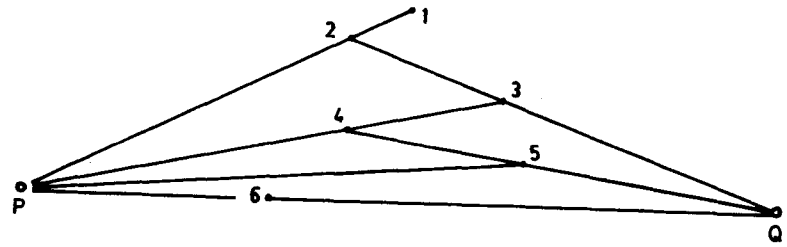
Gambar 5.5. Garis lurus tanpa rintangan

Pada gambar di atas titik-titik P dan Q adalah titik acuan yang akan dilalui oleh garis lurus tersebut. Titik-titik 1 s/d 4 adalah tempat berdirinya yalon dalam melakukan *setting* garis lurus tersebut. Memang dalam pelaksanaannya pemegang yalon akan selalu bergerak di sekitar titik-titik 1 s/d 4, sampai didapatkan bayangan yang saling berimpit.

5.3.2. Titik Acuan Tak-Saling-Lihat

Untuk membuat garis di antara kedua titik acuan ini diperlukan bantuan dua orang pemegang yalon yang bergerak di antara kedua titik yang bersangkutan. Semula dua orang berdiri sambil memegang yalon di titik Q dan no.1.

Orang ketiga bergerak di antara kedua titik tersebut dan kedua pemegang yalon lainnya memberi aba-aba pada orang ketiga dalam usaha menempatkan bayangan yalonnya berimpit dengan kedua yalon lainnya. Usaha ini dilanjutkan dengan titik acuan selanjutnya adalah titik P dan 2, dengan sendirinya untuk mendapatkan titik no. 3. Demikian selanjutnya dari setiap pasang akan didapatkan titik ketiga yang mendekati garis yang dicari tersebut.



Gambar 5.6. Titik acuan yang tidak saling terlihat

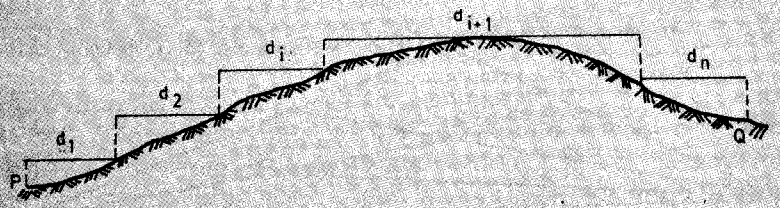
Contoh 5.1: Pengukuran jarak.

Dari gambar jelas terlihat urutan tempat berdirinya pemegang yalon, yaitu mulai dari titik no. 1 s/d titik no. 6. Semua gerakan dari tempat kedudukan yang satu ke tempat kedudukan selanjutnya lakukan dengan kira-kira, tetapi pada kedudukan no. 6 bayangan titik no. 6 dan Q harus sudah berimpit. Dengan sendirinya jumlah perpindahan titik yang dapat dilakukan sampai terjadi suatu garis yang lurus membutuhkan pengalaman dan ketrampilan pembantu juru ukur tersebut. Semula titik no. 2 di-set pada garis Q1, dilanjutkan dengan titik no. 3 yang didapatkan dengan mengimpitkan bayangan sepanjang garis P2, demikian selanjutnya sampai didapatkan titik no. 6 yang memberikan garis lurus yang dimaksud.
Jika yang menjadi penyebab tidak saling terlihat tersebut adalah karena keadaan topografi daerah pemetaan, misalnya daerah yang melengkung (tanjakan), maka tetap harus diusahakan agar panjang yang didapat adalah jarak horizontal.

Contoh 5.2. : Jarak di perbukitan

Terdapat pengukuran jarak melalui perbukitan sebagaimana terlihat di bawah ini, maka sebelum dilakukan pengukuran terdapat dua hal yang perlu diselesaikan terlebih dahulu, yaitu jarak yang terlalu panjang ketimbang pita ukur dan daerah berbukit yang dapat menghasilkan pengukuran jarak miring. Untuk maksud tersebut, maka:

a. jarak D dibagi menjadi beberapa seksi pengukuran yang masing-masing lebih pendek dari panjang pita ukur yang tersedia,
b. Setiap penggal jarak tersebut diukur dengan menggunakan bantuan unting-unting sebagai petunjuk titik bantu.



Gambar 5.7. Pengukuran daerah berbukit

Untuk pelaksanaan ukurnya diperlukan bantuan unting-unting di samping yalon dan pita ukurnya sendiri, seperti yang terlihat pada gambar di atas.

Masalah regangan dan pemuaian yang terjadi selama pengukuran tersebut berlangsung, akan selalu berakibat pada hasil pengukuran itu sendiri. Sehingga dalam melakukan pengukuran tersebut perlu dilakukan dengan pengaturan waktu yang teliti serta pengecekan semua faktor yang berpengaruh terhadapnya. Jelas terlihat jumlah penggal-penggal garis dari d_1 s/d d_n akan menjadi garis lurus antara titik P dan Q. Atau dengan rumus dapat dinyatakan sebagai berikut,

$$d_{PQ} = \sum_{i=1}^{n} d_i \quad \text{..... (5.1)}$$

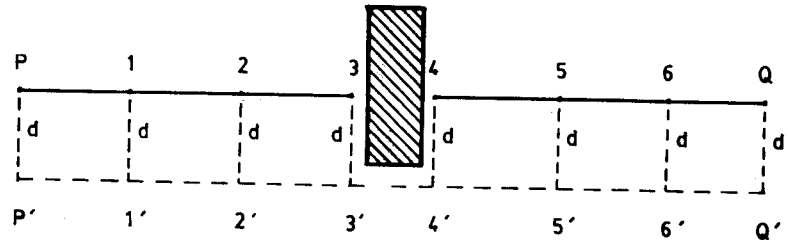
Dengan catatan n adalah jumlah penggal yang diukur, i adalah ukuran ke i, i = 1 s/d n, d_{PQ} adalah jarak lurus antara kedua titik, dan d_i adalah penggal garis sebagai hasil ukuran.

5.3.3. Garis Dengan Rintangan

Pada kesempatan ini dicoba untuk membuat sebuah garis lurus yang melewati suatu penghalang, misalnya sebuah bangunan. Dalam hal ini tentu permainan yalon tidak mungkin dilakukan, maka ada dua cara untuk mengatasinya, yaitu dengan membuat garis bantu bersudut sembarang ataupun bersudut siku-siku.

5.3.3.1. Garis bantu siku-siku

Pada prinsipnya garis bantu ini berusaha membentuk garis yang sejajar (//) dengan garis lurus yang akan diukur tersebut.



Gambar 5.8. Garis lurus dengan rintangan I

Dari gambar terlihat, bahwa titik-titik acuan P dan Q dihalangi oleh bangunan, sehingga pembuatan garis lurus antara kedua titik tersebut memerlukan garis bantu yang sejajar dengan garis PQ dan dibentuk oleh sudut siku-siku pada titik-titik bantu no. 1 s/d no. 6. Pelaksanaannya di lapangan dapat dilakukan sebagai berikut,

a. Carilah kedudukan titik-titik P' dan Q' di lapangan dengan bantuan sudut siku-siku dan berjarak sama masing-masing dari titik P dan titik Q,
b. Tentukan kedudukan titik-titik bantu no. 1' s/d no. 6', dan
c. Dengan berpatokan pada sudut siku-siku di setiap titik bantu dan jarak d, maka akan dapat dicari titik-titik no. 1 s/d no. 6 yang merupakan elemen dari garis lurus tersebut.

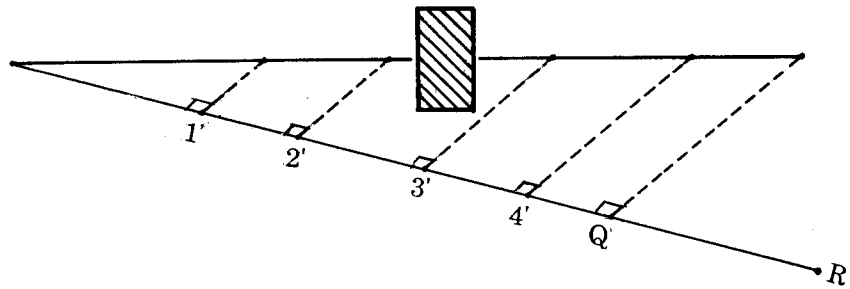
5.3.3.2. Garis bantu bersudut sama

Garis lurus yang akan dibuat di lapangan yang memiliki rintangan dapat pula dilakukan dengan menarik garis bantu melalui salah satu titik acuan dengan sudut sembarang. Titik-titik bantu yang dibuat sepanjang garis bantu diproyeksikan dengan bantuan sudut siku-siku. Sehingga apabila jarak dari titik acuan P ke titik-titik bantu diketahui, maka jarak garis proyeksinya juga dapat dihitung dan diukurkan untuk mendapatkan titik proyeksinya. Dengan demikian garis yang menghubungkan titik acuan P dengan titik proyeksi di atas adalah garis lurus yang dimaksudkan.

Contoh 5.3: Rintangan pada pengukuran jarak.

Seandainya terdapat desain titik yang salah sehingga terdapat sebuah jarak dengan sebuah gedung di antaranya, maka pelaksanaannya di lapangan dapat dilakukan sebagai berikut:

a. Letakkan yalon pada sebuah titik di daerah titik Q yang terlihat dari titik P, misalnya titik R
b. Tentukan titik-titik 1' s/d 4' di sepanjang garis PR dan ukur jaraknya dari titik P tersebut.
c. Cari kedudukan titik Q' dengan bantuan prisma n ukur jarak proyeksinya, yaitu jarak QQ
d. Dengan bantuan rumus hitungan jarak pada segitiga sebangun, maka jarak-jarak proyeksi untuk menentukan titik-titik 1 s/d 4 segera dapat dibuatkan dan diukurkan di lapangan.



Gambar 5.9. Garis lurus dengan rintangan II

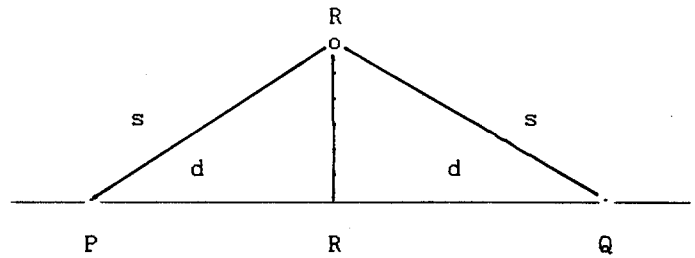
5.3.4. Teknik Pembuatan Sudut Siku-siku

Sudut siku-siku yang diperlukan dalam membuat garis lurus atas dapat dilakukan dengan dua cara, yaitu dengan baik dengan memanfaatkan prinsip segitiga, maupun dengan memakai alat prisma sebagai alat bantunya.

5.3.4.1. Bantuan pita atau rantai ukur

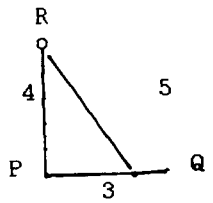
Untuk mengatasi masalah ini, diperlukan dua buah pita atau rantai ukur.

A. – Apabila sudut yang akan dibangun berada pada jalur pengukuran, maka pemanfaatan azas segitiga samakaki dapat diterapkan pada kesempatan ini.
   – Titik R' adalah titik tempat sudut siku-siku tersebut. Dari titik itu diukurkan dengan jarak yang sama ke arah datang dan pergi dari jalur pengukuran dan didapat titik-titik P dan Q.
   – Dari titik-titik P dan Q tersebut diulurkan pula jarak yang sama, misalnya s, sehingga kedua pita ukur tersebut berpotongan di titik R.



Gambar 5.10 Prinsip segitiga samakaki

B. Apabila sudut siku-siku tersebut berada pada akhir suatu jalur pengukuran, maka rumus Phytagoras dapat dimanfaatkan, yaitu dengan memanfaatkan perbandingan sisi segitiga siku-siku.



Gambar 5.11. Prinsip rumus Phytagoras

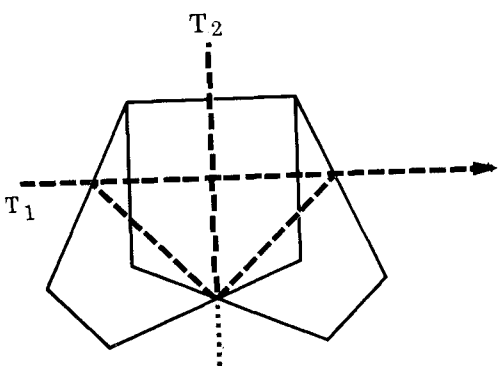
Pelaksanaannya dapat dilakukan sebagai berikut,

1. Tentukan sepanjang garis PQ penggal garis sebesar tiga (3) satuan panjang.
2. Buatkan empat (4) dan lima (5) satuan panjang dari titik-titik P dan Q tersebut.
3. Lingkarkan kedua pita ukur yang mempunyai satuan panjang di atas sehingga bertemu di satu titik R.
4. Maka sudut RPQ akan menjadi sebesar 90 derajat.

5.3.4.2. Dengan bantuan prisma

Alat sederhana ini, memanfaatkan prinsip refleksi sinar yang jatuh pada sebuah cermin dan sudut datang sama dengan sudut pergi dari sinar tersebut. Sehingga apabila baik sinar yang masuk maupun yang pergi tersebut dapat diatur melalui suatu kisi, dan sudut yang dibentuknya pun akan dapat menjadi siku-siku, yaitu sesuai dengan pengaturan yang dilakukan sebelumnya.

Gerak berkas sinar yang datang dari obyek I secara langsung dan berkas sinar yang datang dari obyek II dan masuknya terpantul terlebih dahulu pada prisma akan berimpit di tempat yang tersedia. Semua ini dimungkinkan dengan pengaturan sudut datang dan sudut-sudut prisma tersebut. Lagipula kedua obyek tersebut saling tegak lurus di tempat pengamatan.



Gambar 5.12. Sinar dalam prisma

5.3.5. Pengukuran EDM

Dalam pelaksanaan ukur EDM ini diperlukan satu set alat yang terdiri dari:

a. *Theodolite* yang lengkap dengan statipnya
b. Alat EDM dengan baterei
c. Reflektor dengan statipnya
d. Thermometer dan Barometer

Dari peralatan tersebut jelas terlihat, bahwa pemakaian alat ukur ini hanya dapat dilakukan setelah pemakaian theodolite diketahui (lihat Bab. 7).

Beberapa aturan yang patut diikuti guna pemakaian alat EDM tersebut adalah sebagai berikut:

1. Tegakkan alat ukur theodolite di atas titik dengan menggunakan cara centering optis.
2. Setelah theodolite dipasang, letakkan alat ukur EDM di atasnya sesuai dengan petunjuk yang berlaku.
3. Masukkan baterei yang telah diisi *(charge)* sebelumnya.
4. Tegakkan target di atas reflektor pada statip yang terletak dengan baik di atas titik yang akan diukur.
5. Bidikkan dengan tepat theodolite ke arah target tersebut.
6. Bidikkan pula teropong ke target yang sama.
7. Baca sudut vertikal dan horizontal yang terdapat di antara kedua titik tersebut.
8. Hidupkan alat EDM (ON)
9. Tekankan tombol yang diperlukan, sesuai dengan informasi yang diinginkan.

Informasi yang dapat dihasilkan adalah jarak miring, mendatar, *offset,* dan beda tinggi, namun kelengkapan ini juga terkait dengan jenis peralatannya sendiri. Untuk EDM jarak pendek, umumnya lebih lengkap pemanfaatannya sehingga dapat digunakan untuk pemetaan situasi. Namun pada alat ukur EDM jarak menengah dan jauh, umumnya hanya dilengkapi dengan pembacaan jarak miring, bahkan sebagian hanya menghasilkan data mentah dalam bentuk sifat gelombang elektromagnetis.

5.4. Kesalahan Pengukuran Jarak

Semua pengukuran termasuk pengukuran jarak garis lurus ini pasti mengandung kesalahan. Beberapa penyebab kesalahan tersebut adalah, kesalahan ukur *(gross error, blunder)*, kesalahan sistematis dan kesalahan manusia serta lingkungan.

5.4.1. Kesalahan Ukur

Sesungguhnya kesalahan ini adalah yang tidak dapat ditoleransi, sehingga setiap kesalahan yang tak dapat dipertanggungjawabkan ini harus dibuang dari buku ukur serta pengukuran diulangi kembali. Kesalahan ini umum dikenal dengan nama *blunder*.

Untuk menghindari kesalahan ini umumnya dianjurkan untuk melakukan pengukuran dua kali, yaitu dari kedua titik yang menghubungkan garis lurus dan horizontal tersebut.

5.4.2. Kesalahan Konstan

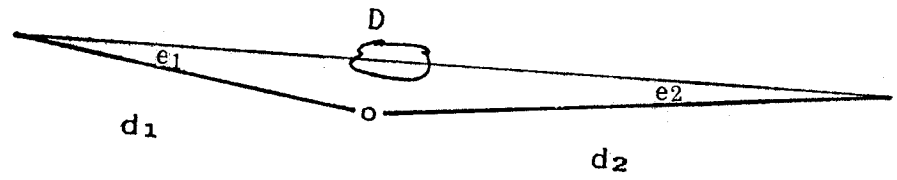
Sebagai akibat dari beberapa faktor yang tidak mungkin dihindarkan baik pada peralatan ukur, maupun kondisi fisik di lapangan, maka umumnya hasil pengukuran akan mengidap kesalahan yang besarnya konstan.

Sebagai contoh adalah kesalahan yang disebabkan keadaan alat yang telah tua, ataupun pengaruh cuaca yang menyebabkan berpengaruhnya konstanta pemuaian dari logam pita ukur tersebut.

5.4.2.1. *Misalignment* dari pita ukur.

Apabila pada suatu jalur pengukuran terdapat sebuah rintangan kecil sehingga pengukuran terpaksa menghindar dari rintangan tersebut, maka akan terdapat penyimpangan sebesar e dari titik awal dan akhir dari garis yang bersangkutan. Kedua penyimpangan ini memang sangat kecil.

Namun apabila jarak ukurnya cukup jauh maka pergeseran yang terjadi akan besar pula, sehingga patut untuk diperhitungkan agar didapatkan hasil ukur yang terbaik.



Gambar 5.13. Rintangan kecil

Pelaksanaannya, dilakukan penyimpangan sebesar e dan diukur jarak-jarak d_1 dan d_2. Dari hubungan penyimpangan dan jarak ukur tersebut, maka jarak sebenarnya (D) didapat dengan rumus,

$$d = d_1 + 2e_1/d_1 + d_2 + 2e_2/d_2 \quad \text{..... (5.2)}$$

5.4.2.2. Standarisasi Peralatan

Sudah lama dimaklumi, bahwa usia, benturan dan pemakaian alat yang berkepanjangan akan membawa akibat terhadap ketelitian alat itu sendiri, (Sinaga 83).

Demikian pula halnya dengan pita ukur yang dipakai pada pengukuran jarak lurus ini yang umumnya terbuat dari bahan logam *(steel)* atau plastik tidak akan luput dari kesalahan di atas.

Namun dengan teknik peneraan dari setiap pita ukur yang akan dipakai terhadap pita standar (yang diakui kebenarannya), akan dapat menghilangkan kesalahan tersebut, maka koreksi kalibrasi:

$$K_k = cd_u \quad \text{..... (5.3)}$$

c adalah konstanta kalibrasi, dan d_u adalah jarak yang diukur di lapangan.

Contoh 5.4. : Konstanta kalibrasi.

Sebuah pita baja 50 meter dikalibrasi pada suhu 26° dan memberikan jarak 49.984 meter.
Dari hubungan tersebut didapat konstanta kalibrasi, yaitu untuk jarak 50 meter terdapat penyimpangan sebesar 0.016 meter. Dari hasil pengukuran jarak didapat data sebagai berikut:

Penggal	Jarak Ukur m	Suhu (°C)	Tegangan (N)	Beda tinggi (m)
1	49.880	30	150	0.73
2	49.900	30	150	0.95
3	49.885	30	150	0.22
4	49.955	31	150	0.64
5	49.885	31	150	0.61
6	49.950	31	150	0.12
7	49.955	32	200 (keliru)	0.00
Total	349.450			

Dari ke tujuh penggal jarak tersebut didapat:
K_t (349.45/50) (0.016) = + 0.112 meter

Dengan demikian, sebelum pita ukur tersebut dipakai pada pengukuran, maka pita ukur tersebut perlu ditera terlebih dulu dengan menentukan konstanta (c), yaitu dengan membandingkannya dengan pita ukur standar (d_s) tersebut. Sehingga setiap hasil ukuran dengan pita tersebut, pengukur akan segera mendapatkan hasil ukuran yang benar (D), yaitu dengan memperbanyak hasil ukuran (d_u) terhadap konstanta panjang bagi pita ukur.

5.4.2.3. Suhu udara

Umumnya pemakaian pita ukur dari bahan logam akan sangat dipengaruhi oleh suhu udara pada saat pengukuran berlangsung. Namun pemecahannya sederhana, yaitu dengan memakai rumus pemuaian, dengan catatan suhu selalu diukur pada saat pengukuran.

$$K_s = d.c\,(t - t_a) \quad \text{..... (5.4)}$$

Contoh 5.5. : Koreksi Muai Pita Ukur.
Seandainya pita ukur di atas mempunyai koefisien muai c = 0.000 009/°C, sedangkan suhu baku adalah 20 ° C, maka koreksi jarak akibat suhu adalah:

K_s = 349,45 x 9 x 10^{-6} x
{ 3 x (30-26) + 3 x (31-26) + 1 x (32-26) } / 7
= 349,45 x 9 x 10^{-6} x 4,71
= 0,0014 meter.

5.4.2.4. Tegangan pita ukur

Umumnya pita ukur dibuat dari bahan logam yang mempunyai massa yang cukup besar, dan akan semakin besar dengan bertambahnya panjang dari setiap rentangan pita tersebut. Di lain pihak juga terdapat pita ukur yang terbuat dari bahan plastik dan kain, sehingga beban yang dikenakan padanya cukup kecil.

Koreksi yang dapat diberikan pada hasil pengukuran adalah sebesar:

$$K_t = d.\,(T - T_s)/AE \quad \text{.....(5.5)}$$

Untuk mana : T adalah tegangan lapangan
T_s adalah tegangan baku
E adalah nilai modulus Young
A adalah luas penampang pita ukur

Contoh 5.6 : Koreksi tegangan pita.

Apabila massa pita baja tersebut di atas adalah 0,03 kg/m, modulus Young adalah 150 000 N/mm², dan densitas baja adalah 7000 kg/m³, didapat potongan melintang dari pita baja tersebut adalah

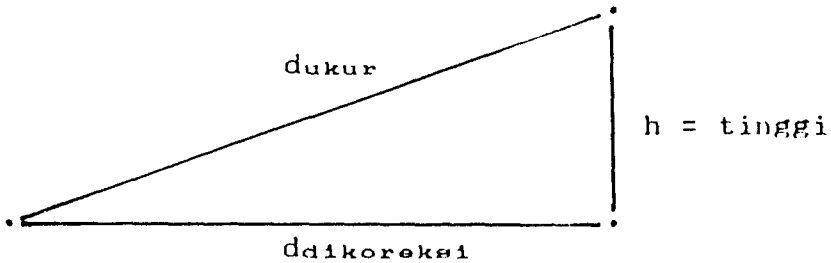
A x 1 x 7000 x 10^{-9} = 0,03 x 10^{-3}
A = 4,29 mm

Dengan demikian dari data terlihat bahwa, penggal 1 s/d 6 tidak memiliki salah, namun penggal ketujuh koreksi tegangan tersebut adalah:

K_t = { 49,955 x (200-150) } / {4,29 x 150 000}
= 0,0039 meter

Namun, walaupun demikian selalu diusahakan agar panjang rentangan dibuat sekecil mungkin untuk menghindari regangan yang terjadi dan berakibat pada penambahan panjang dari pita yang bersangkutan.

5.4.2.5. Koreksi kemiringan pengukuran



Gambar 5.14. Koreksi kemiringan jarak ukur

Dari hubungan geometri di atas, didapat
$d_{dikoreksi} = (d^2_{ukur} - h^2)$, maka

$$\text{Koreksi} = d_{dikoreksi} - d_{ukur}$$
$$= (d^2_{ukur} - h^2) - d_{ukur}$$

Apabila diuraikan dengan deret binominal, maka akan didapatkan besarnya koreksi kemiringan adalah :

$$K_m = -h^2/2d \quad \text{..... (5.6)}$$

Contoh 5.7. : Koreksi kemiringan.

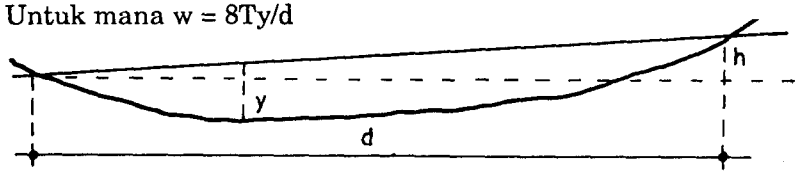
Dari data di atas, maka koreksi kemiringan adalah ;
$K_m = -(0,73)^2 + (0,95)^2 + (0,22)^2 + (0,64)^2 +$
$= -0,0001$ meter.

5.4.2.6. Kelengkungan pita

Kelengkungan sering terjadi sebagai akibat dari berat pita ukur sendiri, secara umum koreksi kelengkungan adalah :

$$K_d = -w^2d^3/24\,T^2 \text{ atau } -w^2d/24T^2 \quad \text{..... (5.7)}$$

Untuk mana $w = 8Ty/d$



Gambar 5.15. Kelengkungan pita

5.4.3. Kesalahan Pengukur

Kesalahan ini, terjadi disebabkan oleh kelemahan yang dimiliki pengukur pada penglihatan dan rasa, yaitu pada saat memberikan ciri pada titik pengukuran dan membaca hasil pengukurannya. Hal ini dapat dibuktikan dengan melakukan pembacaan dengan orang yang berbeda, maka akan didapatkan hasil yang berbeda pula.

Kesalahan ini sesungguhnya terdiri dari dua bagian, yaitu bagian yang tetap (konstan) dan yang bervariasi.

Bagian yang tetap terjadi sebagai akibat dari kebiasaan atau kecenderungan seseorang melakukan kesalahan yang sama, sedangkan yang bervariasi adalah sebagai akibat dari gejala emosi pengukur yang berpengaruh sesaat, yaitu pada saat pengukuran itu saja.

5.5. Rangkuman 5

Pada bagian pendahuluan telah disiratkan kaitan jarak dengan beragam titik ujung dari jarak-jarak tersebut, yang masing-masing memiliki ketelitian yang tersendiri. Hal ini sangat berkaitan dengan pengukurannya sendiri.

Dua buah alat ukur jarak yang paling umum dipakai, yaitu pita ukur dan alat *electronic distance measurement* diuraikan lengkap dengan tata cara pengukurannya sehingga diharapkan jelas terlihat perbedaannya. Berbagai teknik pengukuran dengan menggunakan pita ukur dan alat EDM telah diuraikan pada bagian selanjutnya, yaitu garis lurus yang mendatar dan tidak memiliki rintangan, garis yang titik acuannya tidak saling terlihat, garis lurus dengan rintangan, teknik membuat sudut tegak lurus, baik dengan bantuan pita ukur atau prisma.

Pada bagian keempat diuraikan kesalahan pengukuran jarak, baik yang disebabkan pada pengukuran, maupun yang bersifat konstan dan demikian pula yang disebabkan oleh juru ukur. Kesalahan ini sepatutnya diperhitungkan pada hasil pengukuran agar didapatkan hasil hitungan yang terbaik.

5.6. Latihan 5

1. Simbol titik-titik kerangka di atas peta dinyatakan dengan huruf, angka dan simbol tersebut. Bentuk ini menunjukkan simbol yang bersifat:
   a. kualitatif
   b. kuantitatif
   c. kualitatif dan kuantitatif
   d. tak ada yang benar

2. Sebuah garis lurus diketahui jaraknya sebesar 142,3 meter. Setelah diukur dengan pita ukur 20 meter ternyata panjangnya menjadi 144,4 meter. Berapakah sesungguhnya panjang pita ukur tersebut?
   a. 19.9 meter
   b. 19,8 meter
   c. 19,7 meter
   d. 19,6 meter

3. Sebuah pita baja 30 meter ditera dengan menggunakan beban sebesar 89 Newton pada suhu 18°C. Hasil yang didapatkan adalah 29,998 meter. Pita ini selanjutnya dipakai untuk mengukur sebuah jarak dengan hasil ukuran sebagai berikut:

NO. UKUR	JARAK	SUHU
1	29,8988	22
2	29,9014	21
3	29,8826	21
4	29,9498	20
5	29,9202	20

Beban = 89 Newton
Berat pita ukur = 0,78 kg
Koefisien muai = 11,2 x 10^{-6}/°C

Berapakah panjang jarak tersebut?

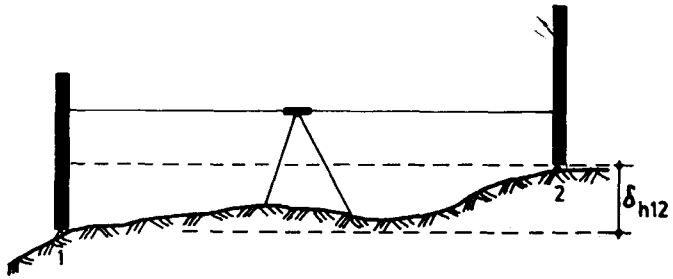
   a. 149.487 meter
   b. 149,488 meter
   c. 149,489 meter
   d. 149,500 meter

BAB VI
PENGUKURAN BEDA TINGGI SIPAT DATAR

Sipatan mendatar yang terjadi secara alami pada cairan dapat dimanfaatkan sebagai alat untuk menunjukkan kedudukan horizontal, yang selanjutnya dikembangkan sebagai alat ukur beda tinggi antara dua buah titik. Sedangkan pengukuran beda tinggi sendiri terdiri dari beberapa teknik dan metode seperti cara barometris yang memanfaatkan perbedaan tekanan udara antara dua titik pengamatan, ataupun cara trigonometris yang menerapkan bentuk dan prinsip geometri yang terjadi di antara kedua titik dengan bidang horizontal yang melalui titik pengamat. Dari ketiga jenis pengukuran beda tinggi tersebut ternyata, bahwa kesalahan pengukuran yang terkecil ternyata terdapat pada pengukuran sipat datar. Hal inilah yang mendorong pengembangan beberapa modifikasi, sehingga muncul beberapa jenis pengukuran sipat datar.

6.1. Pendahuluan

Sebagaimana telah disinggung pada bagian terdahulu, bahwa permukaan bumi ini tidak menentu, artinya mempunyai permukaan yang tidak sama tinggi atau dengan perkataan lain mempunyai selisih tinggi. Apabila selisih tinggi dari dua buah titik dapat diketahui, maka tinggi titik kedua tersebut dapat dihitung, yaitu apabila titik pertama juga telah diketahui tingginya.



Gambar 6.1. Pengukuran sipat datar

Tinggi titik pertama (h_1) dapat didefinisikan, sebagai koordinat lokal ataupun terikat dengan titik lain yang telah diketahui tingginya. Sedangkan selisih tinggi atau lebih umum disebut sebagai beda tinggi (δh) dapat diketahui/diukur dengan memanfaatkan prinsip sipat datar. Sehingga dari gambar (6.1) jelas terlihat hubungan :

$$h_2 = h_1 + \delta h_{12} \quad \text{..... (6.1)}$$

Tinggi titik selanjutnya adalah tinggi titik sebelumnya ditambah dengan beda tinggi antara kedua titik yang bersangkutan $\delta h_{i-1,i}$. Umumnya diambil selisih tinggi titik belakang (h_{i-1}) terhadap titik muka (h_i). Dengan demikian didapat pula:

$$hi = hi - 1 + \delta hi\text{-}1, i \quad \text{..... (6.2)}$$

Selain memindahkan beda tinggi antara dua buah titik, juga yang menjadi masalah dalam pengukuran beda tinggi ini adalah pengambilan/penentuan referensi awalnya. Apabila peta yang diinginkan tersebut hanya berorientasi pada ketinggian setempat saja, tanpa memperhatikan orientasi tinggi yang menyeluruh terhadap daerah sekitarnya, maka titik nol dapat dipilih sembarang.

Namun untuk pemetaan yang teliti dan mempunyai kaitan dengan peta nasional, maka titik referensi awalnya diambil dari tinggi titik nol yang tersedia. Sebagaimana yang telah dijelaskan di muka, maka tinggi titik nol tersebut diambil dari harga rata-rata tinggi permukaan air laut dalam keadaan tidak terganggu selama 18.6 tahun. Padahal telah disinggung pada bagian pertama, bahwa bentuk muka bumi ini sangat tergantung dengan pelbagai gaya dan

Gambar 6.2. Lokasi titik nol ketinggian di Pulau Jawa

gerak baik endogen serta eksogen, dan semuanya ini dipengaruhi secara langsung oleh distribusi massa di daerah sekitar titik yang bersangkutan. Yang pasti distribusi massa tersebut tidaklah sama sehingga dapat dipastikan pula, bahwa pernyataan tinggi satu titik dari dua titik nol yang berbeda akan memberikan ketinggian yang berbeda pula.

Hal inilah yang menyebabkan permasalahan sewaktu pengambilan titik referensi awal ketinggian tersebut, karena sekalipun titik awal diambil dari permukaan air laut rata-rata, tetapi apabila berbeda lokasi awalnya, maka akan tetap dihasilkan ketinggian yang berbeda pada satu titik.

Untuk masalah tersebut, maka para perencana dan perancang yang akan memakai peta yang cukup luas, patut memperhatikan masalah akan kemungkinan terdapatnya kesalahan yang terjadi pada saat pelaksanaan kerja konstruksi, yaitu yang mengakibatkan tidak sesuainya perencanaan di atas peta dengan kenyataan di lapangan. Sehingga selalu terdengar perencanaan pembangunan yang kurang berhasil sebagai akibat banjir yang tak terduga ataupun pelbagai gejala alam lainnya.

6.2. Peralatan Ukur Sipat Datar

Pengukuran sipat datar, paling tidak memerlukan dua alat utama, yaitu alat ukur sipat datar *(waterpas* atau *level)* dan rambu ukurnya. Kedua alat ini umumnya dilengkapi dengan nivo yang berfungsi untuk mendapatkan sipatan mendatar dari kedudukan alat-alat tersebut. Serta unting-unting untuk menepatkan kedudukan alat di atas titik yang bersangkutan.

6.2.1. Alat Ukur Sipat Datar

Tiga jenis alat ukur sipat datar yang umum dipakai pada pengukuran beda tinggi ini, yaitu *dumpy, tilting* dan *automatic level.* Ketiga jenis alat ini mempunyai kelebihan dan kekurangannya masing-masing. Alat ukur *dumpy* hampir tidak dipakai lagi dan digantikan oleh alat ukur *tilting* ataupun otomatik.

6.2.1.1. Dumpy Level

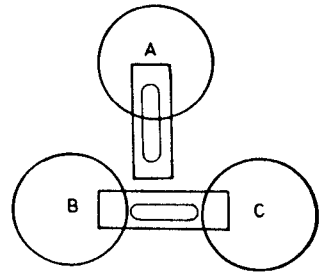
Alat ukur ini, mempunyai lima bagian utama, yaitu landasan alat ukur, sekrup penyetel, tribrach, teropong dengan lensa dan nivo mengatur mendatarnya alat tersebut. Kelima bagian ini perlu diatur sebelum melakukan pengukuran di lapangan.

A. Landasan alat

Landasan alat ini terletak di atas dari tripod (statip) dan merupakan landasan yang datar tempat alat ukur tersebut diletakkan dan diatur sebelum melakukan pengukuran.

B. Sekrup penyetel

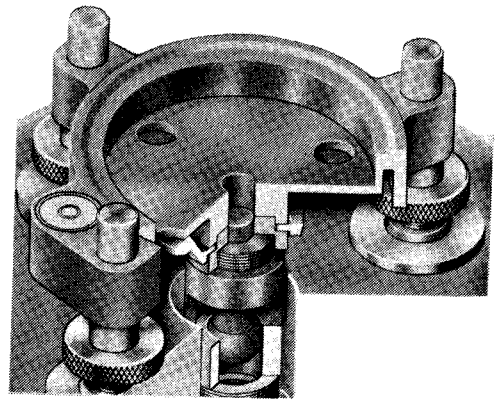
Pada saat ini, umumnya semua alat ukur mempunyai tiga sekrup penyetel, yang berfungsi untuk mendatarkan alat ukur di atas landasan alat tersebut. Patut disadari, bahwa yang harus didatarkan bukanlah hanya garis jurusan nivo, yang berkaitan dengan garis bidik tersebut. Artinya pengaturan bukan hanya untuk mendatarkan satu jurusan saja, namun yang perlu didatarkan adalah sebuah bidang nivo yaitu bidang yang tegak lurus terhadap garis gaya gravitasi di titik pengamatan. Sehingga apabila teropong diarahkan ke semua jurusan, maka garis bidik akan selalu mendatar. Tata cara pengaturan nivo melalui ketiga sekrup ini dimulai dengan mengandalkan sepasang sekrup demikian hingga teropong sejajar kepadanya.



Gambar 63. Ketiga sekrup penyetel

C. Tribrach

Setelah gelembung nivo di tengah, maka teropong diputar tegak lurus terhadap kedua sekrup tersebut dan kembali gelembung diketengahkan. Penghubung landasan dengan alat sipat datar ini dinamakan tribrach, dan bagian ini termasuk ketiga sekrup penyetel di atas. Umumnya setelah alat didirikan dengan menggunakan nivo kotak pada tri-brach, barulah alat ukur diletakkan di atasnya, untuk mendapatkan pengaturan


Gambar 6.4. Tribrach

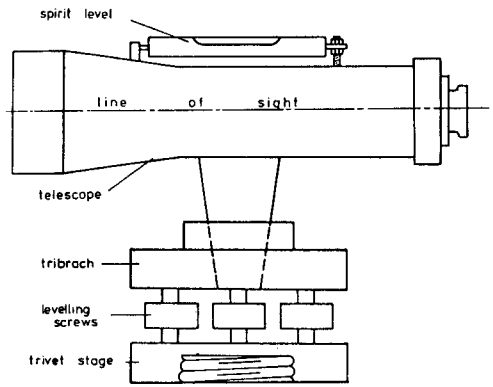
yang selanjutnya. Jadi jelaslah, bahwa tribrach yang diikat oleh landasan alat selanjutnya mengatur dan mengikat alat ukur sipat datar tersebut.

D. Teropong

Bagian yang penting dalam alat ukur sipat datar ini adalah teropong yang lengkap dengan lensa dan pengatur fokusnya. Sebagaimana yang telah diuraikan dalam bab 2 di atas, maka teropong pada alat ukur sipat datar ini juga dilengkapi dengan sekumpulan peralatan optis dan pengatur fokus untuk dapat memperjelas bayangan, reticule dengan benang diafragma yang diperlukan bagi penempatan bayangan sesuai dengan posisi yang dikehendaki, serta peralatan penyetel lainnya. Teropong ini duduk di atas tribrach dan kedudukan mendatarnya diatur oleh ketiga sekrup penyetel yang terdapat pada tribrach di atas. Kedudukan mendatar yang diinginkan diatur oleh sekrup yang mengatur nivo tabung. (lihat gambar 2.5 dan 2.6).

E. Nivo

Alat ukur sipat datar jenis ini umumnya memiliki dua buah nivo, yaitu dari jenis kotak yang terletak pada tribrach dan jenis tabung yang terletak di atas teropong. Nivo kotak tersebut digunakan untuk mendatarkan bidang nivo dari alat tersebut, yaitu agar tegak lurus pada garis gravitasi dan nivo tabung digunakan untuk mendatarkan teropong pada jurusan target yang dibidik, (lihat gambar 2.8).



Gambar 6.5. Alat ukur Dumpy Level.

6.2.1.2. Tilting Level

Jenis kedua alat ukur sipat datar ini terletak pada sekrup pengungkit teropong dan hanya terdiri dari tiga bagian saja. Sekrup pengungkit ini digunakan dalam kaitannya dengan mengetengahkan lembung nivo tabung yang terletak sejajar dengan teropong. Dengan demikian

pengungkitan ini akan mengubah kedudukan gelembung nivo sekaligus menggerakkan posisi teropong pada kedudukan mendatar. Hal ini juga berarti kedudukan garis bidik menjadi mendatar untuk arah yang dimaksud. Alat ukur sipat datar ini mempunyai bagian utama sebanyak tiga bagian, yaitu dudukan alat, teropong dan nivo utama.

A. Dudukan Alat

Penggalan pertama ini sesungguhnya adalah sama dengan gabungan dari tiga bagian utama yang terdapat pada alat ukur jenis Dumpy level, yaitu landasan statip, sekrup penyetel dan tribrach. Terhadap bagian ini alat tersebut dapat berputar dengan sumbu vertikal alat, yaitu dengan tersedianya bola dan *socket* di antara landasan statip dan tribrach tersebut.

B. Teropong

Bagian yang terdapat pada alat ukur ini sama dengan pada alat ukur Dumpy level ataupun teropong pada umumnya.

C. Nivo

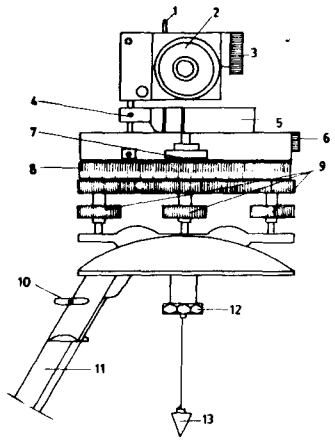
Demikian pula nivo tabung yang terletak di atas teropong tersebut mempunyai fungsi yang sama dengan yang terdapat pada alat-alat lainnya. Namun nivo inilah yang berkaitan dengan sekrup pengungkit agar kedudukan teropong mendatar.

6.2.1.3. Automatic Level

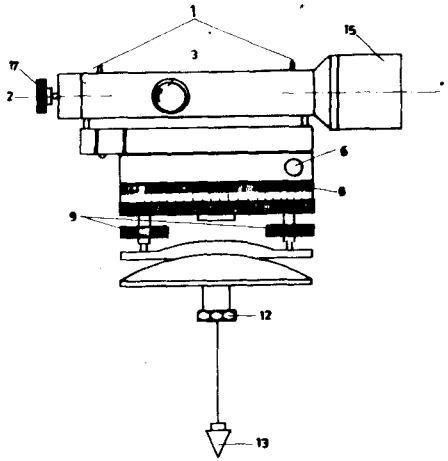
Jenis alat ukur otomatis ini termasuk baru, dalam jajaran alat ukur survey dan pemetaan. Yang diotomasikan dalam alat ini adalah sistem pengaturan garis bidik yang tidak lagi tergantung pada nivo yang terletak di atas teropong. Maksudnya hanya dengan mendatarkan bidang nivo kotak (secara kasaran), yaitu melalui ketiga sekrup penyetel, maka sekaligus (secara otomatis) sebuah bandul (pendulum) menggantikan fungsi nivo tabung di atas dalam mendatarkan garis jurusan nivo ke target yang dikehendaki. Nivo kotak yang bulat yang umumnya terletak dekat ketiga sekrup penyetel tersebut cukup mampu mendekati bidang mendatar. Dengan demikian selanjutnya bandul yang terdiri dari seperangkat prisma lensa akan mendatarkan garis jurusan nivo untuk sembarang arah. Hal ini dimungkinkan, karena posisi bandul yang tergantung dan efek pembiasan sinar yang terjadi melalui prisma tersebut. Walaupun demikian umumnya alat ukur otomatis ini hanya mampu mencapai tingkat ketelitian orde II. Namun kecepatan dan kesederhanaan operasinya membuat alat ini sangat dapat diandalkan di lapangan pengukuran.

KETERANGAN

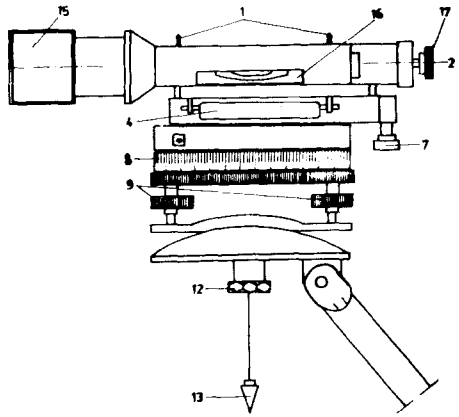
1. VIZIER
2. LENSA OCCULER
3. PENGATUR FOKUS
4. REFLEKTOR
5. NIVO KOTAK
6. PENGATUR HALUS HORISONTAL
7. PENGATUR NIVO TABUNG
8. PUTARAN SKALA HORISONTAL
9. PENGATUR NIVO KOTAK
10. PENYETEL STATIP
11. STATIP
12. SEKRUP PELETAKAN WATERPAS PADA STATIP
13. UNTING - UNTING
14. LENSA OBSERTIF
15. TABUNG OBYEKTIF
16. NIVO TABUNG
17. PENGATUR DIAFRAGMA



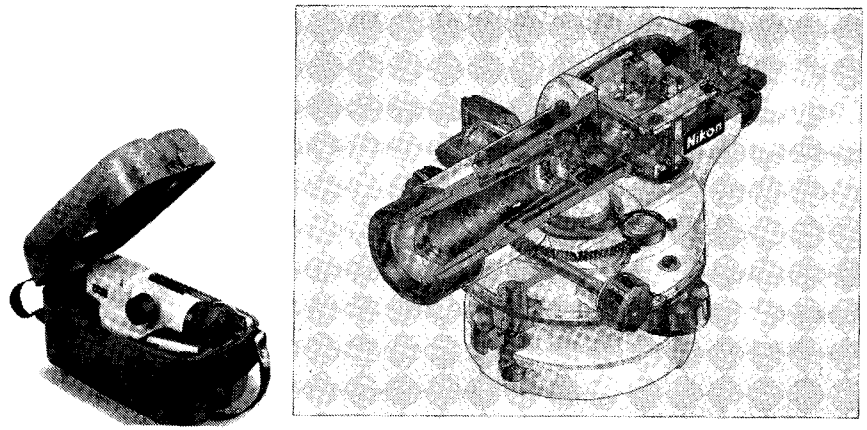
PAND BELAKANG



PAND KIRI



PAND KANAN

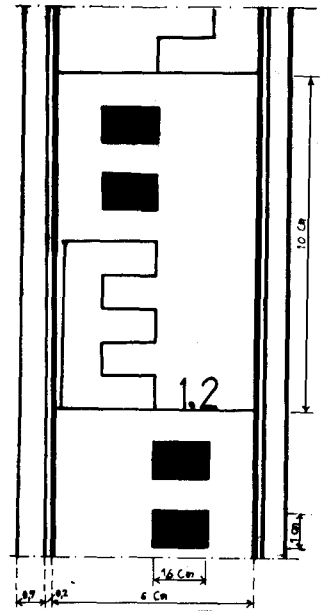


Gambar 6.7. Alat ukur sipat datar otomatik NIKON AP-5

6.2.2. Rambu Ukur

Umumnya alat ukur ini berbentuk sebuah mistar ukur yang besar dengan satuan panjang terkecilnya adalah centimeter, namun untuk pengukuran sipat datar teliti juga dipakai rambu ukur yang satuan skalanya 0.5 centimeter.

Satu bagian skala rambu besarnya 10 centimeter dan ditandai oleh dua bagian yang dihubungkan dan terpisah. Masing-masing bagian mempunyai lebar 5 centimeter. Dengan demikian lebar setiap kotak terkecil yang terdapat pada rambu ukur yang tergambar ini adalah 1 centimeter.



Gambar 6.8. Rambu ukur

6.3. Pengukuran Sipat Datar

Beberapa aspek yang perlu diperhatikan sebelum melakukan pengukuran, yaitu masalah yang menyangkut jalur pengukuran, buku ukur dan kalibrasi alat. Ketiga aspek ini sesungguhnya memerlukan perhatian yang ketat bagi setiap pimpinan pengukuran di lapangan.

Sebagaimana lazimnya pada setiap pengukuran selalu diusahakan agar hasil pengukuran tersebut dapat mencapai yang diharapkan dan tanpa melakukan pengulangan pengukuran. Untuk maksud tersebut selalu dilakukan pengukuran pulang pergi, sehingga dapat dibandingkan kedua hasil akhir pengukuran tersebut, yaitu harus sama besar dan berlawanan tanda. Namun sering dilakukan route perjalanan kedua pengukuran tersebut tidak pada satu jalur. Khususnya untuk daerah yang profilnya berbeda dengan ekstrim, maka dengan sendirinya medan potensial gravitasi juga akan sangat berbeda, dan hal ini akan sangat berpengaruh pada hasil pengukuran tersebut. Jadi harus selalu diusahakan pengukuran pulang dan pergi berada pada satu jalur saja.

Penyediaan buku ukur yang mudah dievaluasi sangat berpengaruh pada keberhasilan pengukuran itu sendiri. Di samping itu setiap selesai pengukuran per seksi, maka hasil pengukuran tersebut haruslah segera dievaluasi, agar kesalahan yang terjadi pada seksi yang bersangkutan dapat segera diketahui, untuk selanjutnya dilakukan perbaikan pada kesempatan pengukuran berikutnya.

Memang sudah disadari, bahwa setiap alat ukur akan mengalami penurunan ketelitian sejalan dengan usia dan jumlah pemakaian alat tersebut. Sehingga patutlah setiap alat ukur tersebut diperiksa dengan teliti sebelum dilaksanakan pengukuran tersebut, (Sinaga, 1983).

6.3.1. Pengukuran

Sesungguhnya yang dimaksud dengan pengukuran adalah juga termasuk persiapan pengukurannya; persiapan ini mencakup pekerjaan pemeriksaan peralatan dan pemasangan pilar-pilar yang diperlukan pada pengukuran tersebut.

6.3.1.1. Persiapan pengukuran

Sebagaimana telah disinggung di atas maka persiapan pengukuran ini termasuk pekerjaan kalibrasi alat dan pemasangan pilar ukur yang diperlukan.

A. Kalibrasi alat ukur sipat datar

Dari ketiga jenis alat ukur sipat datar yang telah diuraikan pada bagian terdahulu, dapat disarikan beberapa bagian yang perlu mendapat perhatian yang serius, agar tidak terjadi kesalahan ukur yang tidak diinginkan dari alat tersebut. Beberapa di antaranya adalah sebagai berikut:

A1. Kesalahan Benang Diafragma

Setelah alat ukur diatur dengan baik, artinya sumbu pertama sudah tegak dengan sempurna, demikian pula rambu ukur sudah didirikan dengan baik, maka dari *eye piece* terlihat bahwa benang silang tidak mendatar.

A2. Kesalahan Garis Bidik

Umumnya garis bidik tidak selalu sejajar dengan garis jurusan nivo, disebabkan pemakaian yang bertahun dan benturan yang terjadi selama transportasi alat ukur tersebut.

A3.Kesalahan Garis Nivo

Kesalahan ini terjadi karena garis jurusan nivo tidak sejajar dengan sumbu mekanis teropong, atau dengan perkataan lain tidak sejajar dengan sumbu lensa yang terdapat pada teropong tersebut sehingga terjadi kesalahan pembacaan rambu ukur.

B. Pemasangan Pilar

Beberapa masalah yang perlu diperhatikan dalam pemasangan pilar tersebut adalah:

B1. Kesalahan Pemilihan Lokasi

Selain dari dilakukannya pengukuran pulang-pergi, juga untuk pengukuran yang besar sering dilakukan pembuatan kring sipat datar agar satu kelompok pengukuran tersebut tidak terlalu besar, karena akan berpengaruh dengan penumpukan kesalahan. Ini berarti pula, bahwa pemilihan tempat pilar, khususnya pilar yang dipakai untuk beberapa arah haruslah diusahakan memiliki sebaran dan tingkat kestabilan yang tinggi.

B2. Kesalahan Pengaturan Jarak Pilar

Pilar-pilar pada suatu daerah pengukuran umumnya diatur jaraknya agar selalu sama panjang, hal ini berkaitan dengan perhi-

tungan yang dilakukan apabila diikutsertakan hitungan statistik yang mengharapkan ketelitian (salah menengah) yang memadai.

Dengan jarak yang hampir sama, maka bobot *(weight)* dari seksi pengukuran tersebut juga dianggap sama besar, sehingga perhitungan ketelitiannya dapat dilakukan dengan mudah di samping kesalahan pada suatu seksi dinilai seimbang dengan seksi lainnya.

6.3.1.2. Jenis-jenis pengukuran sipat datar

Terdapat empat jenis pengukuran sipat datar yang umum dilakukan dengan masing-masing tujuan yang berbeda pula. Keempat jenis pengukuran tersebut akan diuraikan secara panjang lebar pada bagian di bawah ini.

A. Sipat Datar Memanjang

Tujuan pengukuran ini umumnya untuk mengetahui ketinggian dari titik-titik yang dilewatinya dan biasanya diperlukan sebagai kerangka vertikal bagi suatu daerah pemetaan. Hasil akhir pekerjaan ini adalah data ketinggian dari pilar-pilar sepanjang jalur pengukuran yang bersangkutan. Yaitu semua titik yang ditempati oleh rambu ukur tersebut.

B. Sipat Datar Resiprokal

Kelainan pada sipat datar ini adalah pemanfaatan konstruksi serta tugas nivo yang dilengkapi dengan skala pembaca bagi pengungkitan yang dilakukan terhadap nivo tersebut. Sehingga dapat dilakukan pengukuran beda tinggi antara 2 titik yang tidak dapat dilewati pengukur. Seperti halnya sipat datar memanjang, maka hasil akhirnya adalah data ketinggian dari kedua titik tersebut.

C. Sipat Datar Profil

Tujuan pengukuran ini umumnya adalah untuk mengetahui profil dari suatu *trace* baik jalan ataupun saluran, sehingga selanjutnya dapat diperhitungkan banyaknya galian dan timbunan yang perlu dilakukan pada pekerjaan konstruksi. Pelaksanaan pekerjaan ini umumnya dilakukan dalam 2 bagian yang disebut sebagai sipat datar profil memanjang dan melintang. Hasil akhir pengukuran ini adalah gambaran (profil) kedua jenis pengukuran tersebut dalam arah potongan tegaknya.

D. Sipat Datar Luas

Pada jenis pengukuran sipat datar ini yang paling diperlukan adalah

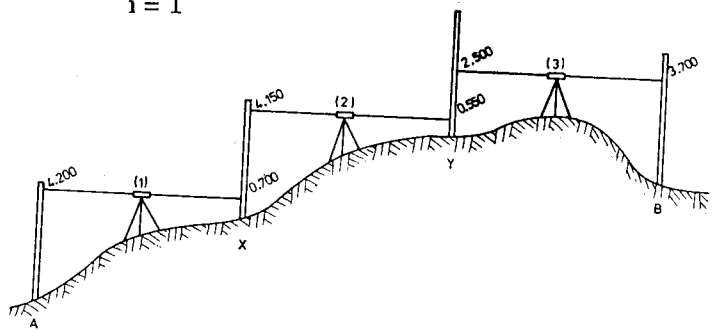
penggambaran profil dari suatu daerah pemetaan yang dilakukan dengan mengambil ketinggian titik-titik detail di daerah tersebut dan dinyatakan sebagai wakil dari ketinggiannya. Sehingga dengan melakukan interolasi di antara ketinggian yang ada, maka dapat ditarik garis-garis konturnya di atas peta daerah pengukuran tersebut.

Pada saat ini banyak ditemui pelbagai jenis buku ukur bagi hasil pengukuran sipat datar ini, sekalipun semuanya pada dasarnya adalah sama, yaitu berisikan data-data pembacaan rambu ukur sesuai dengan yang ditunjukkan oleh ketiga bagian benang silang. Pembacaan yang dilakukan tersebut adalah hasil penunjukan benang atas, tengah dan bawah dari *crosshair* yang tersedia.

6.3.2. Sipat Datar Memanjang

Apabila pemindahan rumus (6.1) mengenai beda tinggi titik di atas, diperluas dari suatu tempat lain yang memerlukan pengukuran lebih dari satu langkah *(slag)* seperti yang terlihat dalam gambar (6.2), maka secara umum rumus (6.2) dapat ditulis sebagai:

$$h_n = h_1 + \sum_{i=1}^{n} \delta h_{i,i+1} \qquad (6.3)$$



Gambar 6.9. Pengukuran sipat datar memanjang

Dengan sendirinya untuk setiap kali alat berdiri, paling sedikit dilakukan dua kali pembacaan, yaitu pada rambu belakang dan muka pada pengukuran sipat datar memanjang. Kedua seri data inilah yang selanjutnya diolah sehingga menghasilkan data beda ketinggian dan jarak antara kedua titik tersebut.

Sebagai data tambahan, selalu dilakukan pembacaan benang atas (ba) dan benang bawah (bb) yang akan digunakan sebagai kontrol pembacaan benang tengah (bt), yang rumusnya:

WATERPAS

Lembar ke : 1

Gelombang / hari / Group : I / SELASA / II

Diukur oleh : 1 NOVIANA Nrp : 85110104
2 ADE SOPHIA : 85110009
3 BHIRAWA ABRI W : 85110030
4 D. SURYADHARMA : 85110049
5 M. UTARI : 85110092

Pengukuran : Beda tinggi
Lokasi : Belakang kampus ISTN
Tanggal : 17 November 1987
Nama Ass : Ir. HERRY Wignata
Paraf Ass : .....

Tingkat / jur : .....
Nama Ketua Group : ..... Paraf : .....

Tempat pesawat	Titik arah	PEMBACAAN BAK Belakang (ba / bt / bb)	PEMBACAAN BAK Muka (ba / bt / bb)	Beda tinggi	Koreksi beda tinggi	Beda tinggi setelah dikoreksi	Jarak Belakang	Jarak Muka	Jarak Jumlah	Tinggi titik	Keterangan
	A	1,819					14,6		14,6	10,000	Patok Beton
		1,748									
		1,673									
	1	1,336	1,761	0,060			11,3	14,8	26,1	10,060	Patok kayu
		1,279	1,688								
		1,223	1,613								
	2	1,147	1,500	-0,169			14,8	10,8	25,6	9,891	Patok kayu
		1,075	1,448								
		0,999	1,392								
	3	1,459	1,402	-0,253			7,1	14,8	21,9	9,638	Patok kayu
		1,425	1,328								
		1,388	1,254								
	B		1,031	0,428				7,2	7,2	10,066	Patok Beton
			0,997								
			0,959								

Gambar 6.10a. Formulir sipat datar memanjang lembar 1.

WATERPAS

Lembar ke : 2

Gelombang/hari/Group : I / SELASA / II

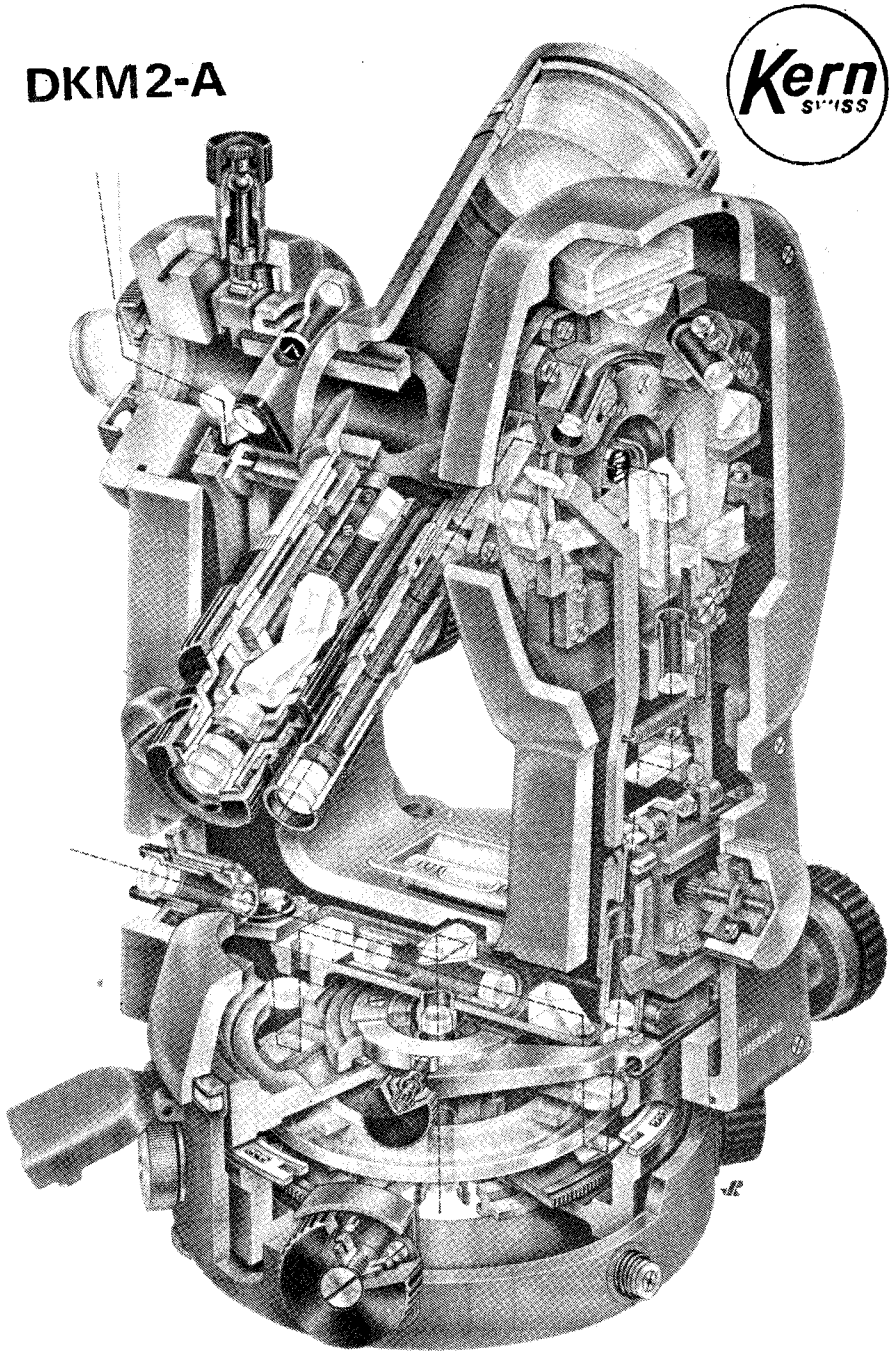
Diukur oleh : 1. NOVIANA Nrp : 85110104
2. ADE SOPHIA : 85110009
3. BHIRAWA ABRI W : 85110030
4. D. SURYADHARMA : 85110049
5. M. UTARI : 85110092

Pengukuran : Beda tinggi
Lokasi : Belakang kampus ISTN
Tanggal : 17 NOVEMBER 1987
Nama Ass : Ir. HERRY Wignata
Paraf Ass : .....

Tingkat / jrs : .....
Nama Ketua Group : ..... Paraf : .....

Tempat pesawat	Titik arah	PEMBACAAN BAK Belakang (ba / bt / bb)	PEMBACAAN BAK Muka (ba / bt / bb)	Beda tinggi	Koreksi beda tinggi	Beda tinggi setelah dikoreksi	Jarak Belakang	Jarak Muka	Jarak Jumlah	Tinggi titik	Keterangan
	B	1,035					7,2		7,2	10,066	Patok Beton
		0,999									
		0,963									
	3	1,418	1,461	-0,428			14,5	7,1	21,6	9,638	Patok kayu
		1,345	1,427								
		1,273	1,390								
	2	1,473	1,165	0,253			11,0	14,5	25,5	9,891	Patok kayu
		1,420	1,092								
		1,363	1,020								
	1	1,761	1,308	0,168			14,6	11,0	25,6	10,059	Patok kayu
		1,689	1,252								
		1,615	1,198								
	A		1,825	-0,060				14,9	14,9	9,999	Patok Beton
			1,749								
			1,675								

Gambar 6.10b. Formulir sipat datar memanjang lembar 2.



bt = 0.5 (ba + bb) ..... (6.4)

Juga dari kedua data tambahan ini dapat diturunkan jarak antara alat ukur dengan masing-masing rambu ukurnya, yaitu dengan rumus:

d = (ba - bb) x 100 ..... (6.5)

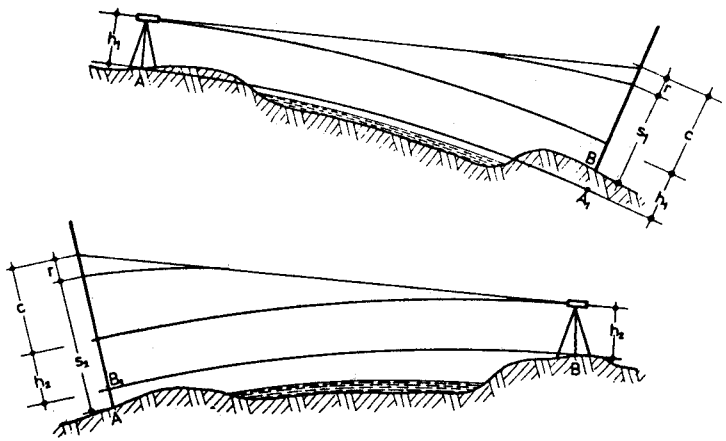
Namun kedua data tambahan tersebut, tidaklah mutlak berpengaruh dalam menentukan kebenaran benang tengah, ataupun jumlah jarak pengukuran. Hal ini berkaitan dengan kesalahan yang mungkin terjadi pada pembacaan rambu, serta jumlah jarak tersebut bukanlah jumlah jarak garis lurus. Umumnya jarak optis yang dihasilkan dari rumus di atas dipakai pada sipat datar luas.

6.3.3. Sipat Datar Resiprokal

Sebagaimana disinggung di muka, maka pembacaan langsung untuk rambu muka tidak dapat dilakukan. Dengan demikian pada sipat datar resiprokal, data yang dikumpulkan bukanlah hasil pembacaan rambu yang ditunjukkan oleh benang silang, tetapi dibaca dari pergesaran skala sekrup pengungkit *(tilting screw)*. Pembacaan skala pengungkit ini dilakukan pada kedudukan benang tengah berimpit dengan target atas (TA), target bawah (TB) yang terdapat pada rambu ukur, serta pada saat kedudukan alat ukur mendatar. Pengukuran ini umumnya dilakukan pada tepi sungai, dengan tanah yang selalu lunak, untuk mengatasi hal tersebut perlu dilakukan pengukuran berulang kali pada masing-masing kedudukan alat ukur tersebut.

Di samping hal di atas, yang juga perlu mendapatkan perhatian pada pengukuran sipat datar resiprokal ini adalah masalah jarak yang tidak seimbang antara pengukuran ke muka dan ke belakang. Sehingga pada pengukuran dengan jarak yang demikian pengaruh refraksi serta kelengkungan bumi sudah cukup berperan serta. Dengan mengukur suhu,tekanan serta kelembaman udara secara periodik sepanjang pengukuran serta memakai rumus hitungan yang tersedia, maka kesalahan tersebut dapat dieliminasi.

Sesungguhnya jenis pengukuran ini adalah modifikasi dari pengukuran sipat datar memanjang. Modifikasi ini diperlukan sebagai akibat terbenturnya *route* pengukuran misalnya sebagai akibat medan pengukuran yang memang tidak mengizinkan, seperti melintasi sungai yang sangat lebar.



Gambar 6.11. Pengukuran sipat datar resiprokal

Dengan sendirinya kemampuan pembacaan langsung ke rambu ukur tidak mungkin dilakukan, sehingga untuk menyeberangkan tinggi titik yang bersangkutan diperlukan beberapa persyaratan yaitu:

a. Tersedianya alat ukur *tilting level*
b. Tersedianya sekrup pengungkit berskala
c. Tersedianya thermometer dan barometer
d. Tersedianya pilar-pilar di kedua sisi sungai tersebut, dalam keadaan yang cukup kuat

Sehingga dapat dikatakan, pengukuran sipat datar memanjang berakhir dan dimulai kembali pada pilar-pilar tersebut.

Dari gambar 6.3, terlihat bahwa jarak ke rambu belakang cukup dekat dibandingkan dengan jarak ke rambu muka. Di lain pihak pembacaan ke rambu muka tidak dapat dilakukan, sehingga perlu dibantu dengan dua buah target yang dipasangkan serta dicatat ketinggiannya oleh pembantu pengukur di seberang sungai tersebut. Sehingga pembacaan skala pengungkit yang dilakukan oleh pengukur adalah dengan menepatkan:

a. kedudukan benang mendatar diafragma kepada kedua bayangan target (TA dan TB), dan
b. kedudukan alat mendatar

Ketiga gerakan ini dilakukan dengan mengungkait benang diafragma tersebut dengan menggunakan sekrup pengungkit.

Dengan mempertimbangkan keadaan kekuatan tanah yang cukup

lemah, serta jarak ukur yang cukup jauh (misalnya: Sungai Barito di sekitar Banjarmasin mempunyai lebar 1500 m), maka perlu dilakukan pengamatan berulang kali, baik bagi ketiga kedudukan di atas maupun pengukuran suhu dan tekanan udara.

Misalnya data yang dihasilkan pengukur untuk ketiga kedudukan benang tengahnya adalah sebagai berikut:

Pembacaan kedudukan skala target atas = ta
Pembacaan kedudukan skala mendatar = bt
Pembacaan kedudukan target bawah = tb

Sedangkan dari pengaturan target oleh pembantu juru ukur di sisi sungai lainnya didapatkan data-data sebagai berikut:

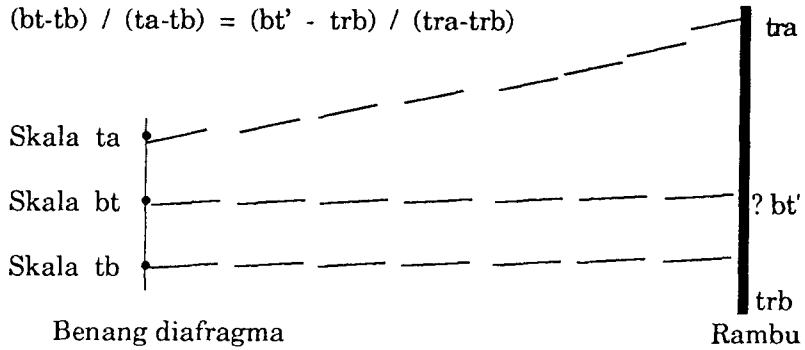
Data ketinggian target atas = tra
Data ketinggian target bawah = trb

Jelas terlihat, bahwa terdapat hubungan pembacaan yang dilakukan oleh juru ukur dengan data yang dikumpulkan oleh pembantu juru ukur tersebut, sehingga untuk menentukan kedudukan alat mendatar pada rambu tersebut dapat dilakukan dengan melakukan interpolasi sederhana. Yang patut diperhatikan di sini adalah bahwa pembacaan skala pengungkit pada saat alat mendatar harus berada di antara kedua target yang dipasang tersebut.

TITIK	SET / NO	PEMBACAAN SKALA SEKRUP			SUHU	TEK
		T.A	MENDATAR	T.B	°C	mmHg
569	I/1	9.7	21.8	46.8	23.8	786.5
	2	9.8	20.4	47.0	.	.
	.	.	.	.	.	.
	.	.	.	.	.	.
	10	.	.	.	25.6	801.6
	.	.	.	.	.	.
	.	.	.	.	.	.
	.	.	.	.	.	.
	.	.	.	.	.	.
	.	.	.	.	.	.
	40	10.6	21.1	44.3	.	.

Gambar 6.12. Lembar ukur sipat datar resiprokal

Untuk dapat menemukan nilai kedudukan benang tengah di antara target di seberang sungai, maka misalkan kedudukan mendatar tersebut adalah bt', maka dengan menggunakan hitungan interpolasi sederhana didapatkan hubungan:



Gambar 6.1.3 Interpolasi benang tengah

Apabila hubungan tersebut disederhanakan, maka didapat:

$$bt' = trb + \frac{(bt\text{-}tb)\,(tra - trb)}{(ta\text{-}tb)} \qquad \text{.....(6.6)}$$

Dengan dimilikinya data ta, tb, bt, tra dan trb, maka dengan mudah dapat dihitung nilai bt'. Untuk mendapatkan tinggi titik di seberang sungai tersebut, maka diperlukan data bacaan benang tengah dari rambu belakang dan tinggi alat ukur yang bersangkutan. Apabila tinggi alat di titik awal (TA1) dan tinggi titik (T1) diketahui, maka tinggi titik yang di seberang sungai tersebut (T2) adalah: T1 + TA1 = T2 + bt' atau

$$T2 = T1 + TA1 - bt' \qquad \text{.....} \qquad (6.7)$$

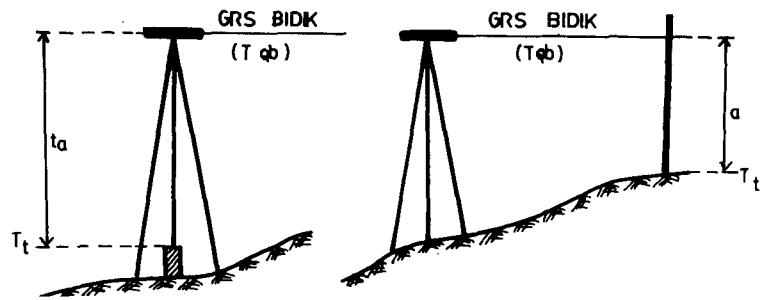
Sebagaimana disinggung di muka, maka pada hasil pengukuran ini perlu diberikan koreksi terhadap segala pengaruh, seperti koreksi refraksi dan kelengkungan bumi. Dengan demikian rumus tersebut menjadi:

$$T2 = T1 + TA1 - bt' - 0{,}0673\ L^2 \qquad \text{.....} \qquad (6.8)$$

Teknik penyeberangan titik ini bukanlah satu-satunya, namun dengan menggunakan sepasang alat ukur sipat datar otomatis juga dapat dilakukan penyeberangan ini. Teknik tersebut dikenal dengan nama "double leveling"

6.3.4 Sipat Datar Profil

Pengukuran sipat datar profil dilakukan dengan membaca benang tengah pada beberapa rambu, yaitu sebanyak yang diperlukan bagi penggambaran profil di dalam arah tersebut. Profil yang diperlukan adalah dalam arah memanjang dan melintang dari rencana konstruksi yang akan dikerjakan. Namun para teknisi dan perencana umumnya lebih memperhatikan penggambaran profil dalam arah melintang daripada arah memanjang, sehingga skala yang dipakai antara kedua jenis pengukuran tersebut umumnya mempunyai perbedaan skala.



Gbr. 6.1.4 Pengukuran sipat datar profil.

Demikian pula terdapat perbedaan skala untuk ukuran ketinggian dan mendatar. Hal ini disebabkan faktor ketinggian lebih berpengaruh dalam perencanaan sehingga memerlukan skala yang lebih besar. Pengukuran sipat datar profil ini sangat mirip dengan sipat datar luas, namun kecenderungannya adalah masalah ketinggian dan orientasi arah. Hal ini disebabkan dengan permintaan pemakai peta untuk pelaksanaan pekerjaan yang memerlukan ketinggian yang baik.

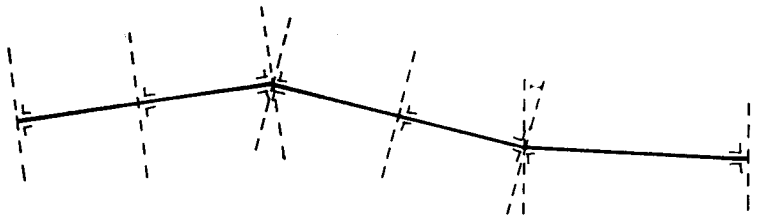
Jenis pekerjaan yang akan dilakukan umumnya adalah desain jalan raya, saluran irigasi ataupun lainnya, sehingga selain diperlukan pengetahuan ke arah memanjang (ketinggian dan arah), juga diminta informasi dalam arah melintang dari arah tersebut.

Secara terpadu kedua bagian pekerjaan sipat datar profil ini akan memberikan informasi bagi para perencana dalam menentukan:

a. penentuan gradient yang cocok bagi pekerjaan konstruksi yang dikerjakannya.
b. menghitung volume pekerjaan

c. menghitung besarnya galian dan timbunan yang perlu dipersiapkan.

Dalam pelaksanaan pekerjaan lapangan, sipat datar profil ini terbagi dalam dua bagian, yaitu potongan memanjang dan melintang. Sedangkan pada tahap penggambaran umumnya dilakukan penggambaran situasi sepanjang *route* pengukuran, potongan memanjang dan potongan melintang.



Gambar 6.15. Arah pengukuran sipat datar profil.

6.3.4.1. Potongan memanjang

Untuk dapat mengerti masalah sipat datar profil ini, maka akan diuraikan pelaksanaan ukurnya, untuk dilanjutkan langsung pada penggambaran.

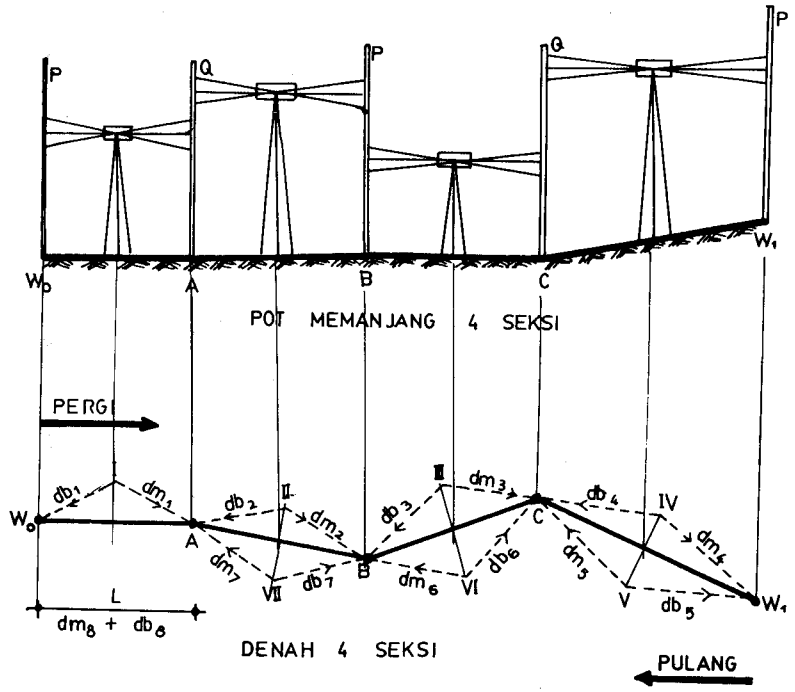
A. Pengukuran

Pelaksanaan pengukuran tidak berbeda dengan pengukuran sipat datar memanjang, yaitu melalui *route* pilar yang merupakan titik ikat potongan melintang nantinya.

Untuk mendapatkan gambaran yang lebih mendetail, maka dilakukan juga pengambilan titik detail sepanjang *route* tersebut. Sehingga dapat dipenuhi syarat penggambaran garis kontur yang diperlukan pada penggambaran.

Beberapa ketentuan yang diperlukan dalam pekerjaan lapangan adalah:

a. Pengukuran harus dilakukan sepanjang garis tengah dari daerah pemetaan dan dilakukan pada setiap perubahan yang terdapat pada permukaan tanahnya.
b. Juga diperlukan data jarak dari pita ukur.
c. Untuk dapat membuat garis seksi yang lurus, diperlukan bantuan pengukuran dengan alat ukur theodolite.



Gambar 6.16. Potongan memanjang 4 seksi.

Pelaksanaan ukurnya dapat dilakukan oleh seorang juru ukur dengan dibantu oleh tiga orang pembantu. Juru ukur dapat melakukan pengukuran dan pencatatan, seorang pembantu selalu bergerak dengan sebuah rambu ukur, dan kedua pembantu lainnya melakukan pengukuran jarak dengan pita ukur tersebut.

WATERPAS

Tgl /Hari praktek /Group : 17-11-1987 / selasa / V — Pengukuran : Profil memanjang

Diukur Oleh : 1. NOVIANA Nrp 85110104
2. ADE SOPHIA 85110009
3. BHIPAWA ABRI W 85110030
4. D. SURYADHARMA 85110049
5. M. UTARI 85110092

Lokasi : Belakang ISTN
Tanggal : 17 November 1987
Nama Ass : Ir. Herry Wigrata
Paraf Ass :

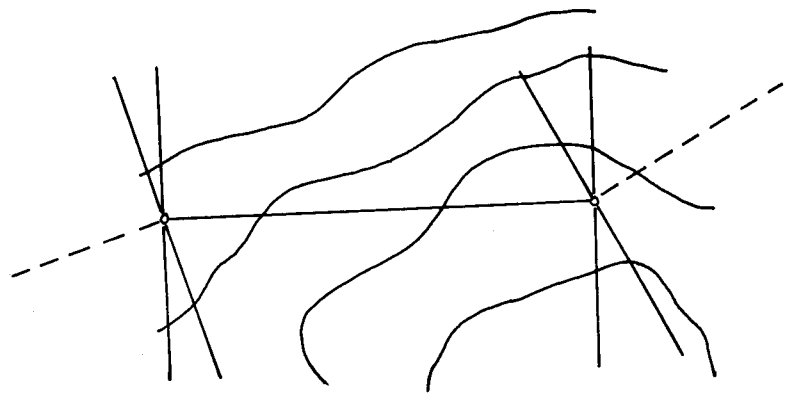
Tingkat / jrs :
Nama Ketua Group : Paraf :

Tempat pesawat	Tinggi pesawat	Titik arah	Pemb Bak ba bt bb	Jarak titik thp tempat pesawat	Tinggi: Grs. Bidik	Tinggi: Titik	Keterangan / Gambar
A	1,19 m	a_1	1,206	19,4	11,190	10,080	
			1,110				
			1,012				
		a_2	0,887	13,2	11,190	10,374	
			0,816				
			0,749				
		a_3	0,744	6,2	11,190	10,480	
			0,710				
			0,680				
2	1,39 m	1a	1,343	14,5	11,281	10,009	
			1,272				
			1,198				
		1b	1,371	10,4	11,281	9,962	
			1,319				
			1,267				
		1c	1,252	5,8	11,281	10,058	
			1,223				
			1,194				
3	1,56 m	2a	1,510	19,8	10,998	9,586	
			1,412				
			1,312				
		2b	1,639	10,0	10,998	9,409	
			1,589				
			1,539				
8	1,20 m	b_1	1,609	10,1	11,266	9,618	
			1,648				
			1,598				
		b_2	1,581	6,4	11,266	9,717	
			1,549				
			1,517				
		b_3	1,506	2,9	11,266	9,774	
			1,492				
			1,477				

Gambar 6.17. Formulir ukuran sipat datar memanjang.

b. Penggambaran

Penggambaran dapat dilakukan setelah dilakukan hitungan beda tinggi dan jarak untuk semua titik yang telah diukur di atas. Apabila data tersebut sudah siap, maka penggambaran dapat dilakukan dengan memakai skala yang tertentu. Umumnya skala vertikal diambil lebih besar daripada skala horizontal. Hal ini dimaksudkan agar perbedaan tinggi antar titik detail dapat diperjelas.



Gambar 6.18. Plotting sipat datar profil memanjang.

Sebelum penggambaran perlu dicari titik-titik terendah dan tertinggi agar dapat menentukan datum ketinggian, yaitu yang akan terletak sebagai garis dasar yang mendatar di sebelah bawah titik terendah. Data hasil pengukuran jarak (pita ukur), digambar pada garis datum ketinggian tersebut, dan ditarik garis tegak lurus terhadap setiap titik tersebut. Setiap hari ketinggian yang telah dihitung di atas, selanjutnya diskalakan sepanjang garis yang tegak lurus di atas, titik yang di atas.

Apabila pada gambar di atas digambarkan rencana jalan yang akan dikerjakan, maka kedalaman penggalian dan ketinggian timbunan dapat dihitung dengan mudah, yaitu dengan langkah-langkah:

a. Ambil data ketinggian dari setiap titik pita ukur.
b. Hitunglah ketinggian titik pita terhadap rencana.
c. Hitunglah selisih dari masing-masing ketinggian, untuk jelasnya lihat bab 10.

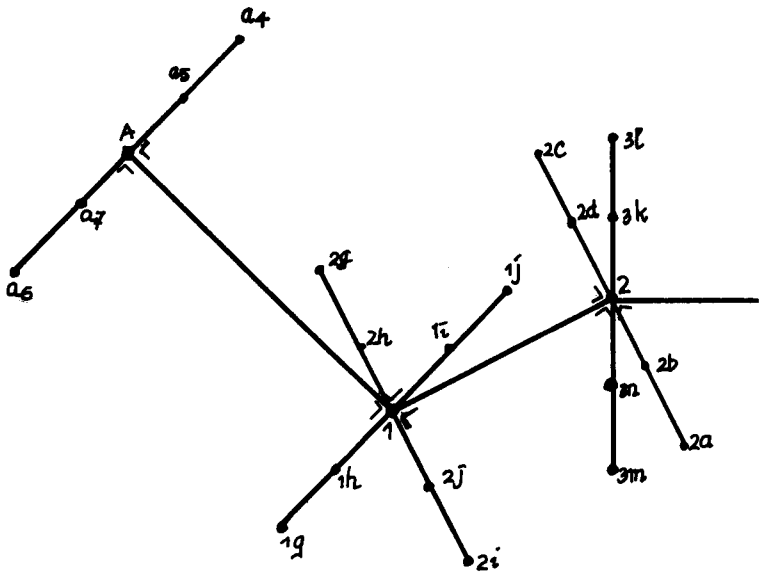
6.3.4.2. Potongan melintang

Sebagaimana telah disiunggung di atas, maka pada tahap pekerjaan ini, pengukuran dilakukan tegak lurus pada potngan memanjang dan melalui titik-titik ikat yang telah terukur dengan baik memakai ita ukur tersebut.

A. Pengukuran

Pertama sekali perlu dilakukan *setting* dari garis potongan melintang tersebut, dengan bantuan prisma, sehingga garisnya tegak lurus terhadap arah datang dari potongan melintang. Seandainya pada titik ikat tersebut terjadi belokan, maka perlu dibuatkan dua arah datang dan arah belokan selanjutnya.

Selanjutnya dilakukan pengukuran beda tinggi untuk setiap perubahan yang dianggap perlu sepanjang garis potongan tersebut dengan bertitik awal tinggi pada titik ikat yang dibuat oleh potongan memanjang.



Gambar 6.19 Arah potongan melintang.

WATER PAS

Tgl/Hari praktek/ Group : 17-11-1987 / Selasa / V

Diukur Oleh : 1. NOVIANA Nrp 85110104
2. ADE SOPHIA 85110009
3. BHIPAWA ABRI . W 85110030
4. D. SURYADHARMA 85110049
5. M. UTAR-1 85110092

Pengukuran : Profil melintang

Lokasi : Belakang ISTN

Tanggal : 17 November 1987

Nama Ass : Ir. Herry Wigrata

Paraf Ass : .....

Tingkat/ jrs : .....

Nama Ketua Group : ..... Paraf : .....

Tempat pesawat	Tinggi pesawat	Titik arah	Pemb Bak ba bt bb	Jarak titik thp. tempat pesawat	Tinggi		Keterangan / Gambar
					Grs.Bidik	Titik	
A	1,19 m	a4	1,543	2,9	11,190	9,662	
			1,528				
			1,514				
		a5	1,507	1,9	11,190	9,692	
			1,498				
			1,488				
		a6	0,819	7,0	11,190	10,406	
			0,784				
			0,749				
		a7	0,556	4,5	11,190	10,656	
			0,534				
			0,511				
1	1,40 m	1g	1,334	3,7	11,460	10,143	
			1,317				
			1,297				
		1h	1,369	1,7	11,460	10,099	
			1,361				
			1,352				
		1i	1,466	6,3	11,460	10,025	
			1,435				
			1,403				
		1j	1,469	3,2	11,460	10,007	
			1,453				
			1,437				
1	1,40 m	2g	1,378	7,2	11,460	10,118	
			1,342				
			1,306				
		2h	1,438	3,3	11,460	10,038	
			1,422				
			1,405				
		2i	1,248	6,1	11,460	10,242	
			1,218				
			1,187				
		2j	1,368	25,5	11,460	10,220	
			1,240				
			1,113				

Gambar 6.20a. Formulir pengukuran sipat datar profil melintang

WATERPAS

Tgl/Hari praktek/Group : 17-11-87 / Selasa / V

Diukur Oleh : 1. NOVIANTA Nrp 85110104
2. ADE SOPHIA 85110009
3. BHIRAWA ABRI W 85110030
4. D. SURYADHARMA 85110049
5. M. UTARI 85110092

Pengukuran : Profil melintang
Lokasi : Belakang ITN
Tanggal : 17 November 1988
Nama Ass. : Ir. Herry Wignata
Paraf Ass : .....

Tingkat/jrs : .....
Nama Ketua Group : ..... Paraf : .....

Tempat pesawat	Tinggi pesawat	Titik arah	Pemb Bak ba / bt / bb	Jarak titik thp tempat pesawat	Tinggi: Grs Bidik	Tinggi: Titik	Keterangan / Gambar
2	1,39 m	2a	1,324 / 1,188	7,4	11,281	10,093	
		2b	1,150 / 1,445 / 1,425	3,9	11,281	9,856	
		2c	1,406 / 1,820 / 1,759	12,2	11,281	9,522	
		2d	1,698 / 1,588 / 1,552	7,4	11,281	9,729	
		3k	1,514 / 1,601 / 1,612	10,0	11,151	9,539	
2	1,32 m	3l	1,561 / 1,420 / 1,269	30,2	11,151	9,982	
		3m	1,118 / 1,236 / 1,193	8,7	11,151	9,837	
		3n	1,149 / 1,337 / 1,314	4,8	11,151	9,958	
		3g	1,289 / 1,769 / 1,718	10,0	10,958	9,240	
3	1,39 m	3h	1,609 / 1,283 / 1,258	4,9	10,958	9,700	
		3i	1,234 / 1,334 / 1,283	10,1	10,958	9,675	
		3j	1,233 / 1,418 / 1,394 / 1,369	4,9	10,958	9,564	

Gambar 6.20b. **Formulir pengukuran sipat datar profil melintang**

WATERPAS

Tgl/Hari praktek/Group : 17-11-1987 / Selasa / I

Diukur Oleh : 1. NOVIANTA Nrp 85110104
2. ADE SOPHIA 85110009
3. BHIRAWA ABRI W 85110030
4. D. SURYADHARMA 85110049
5. M. UTARI 85110092

Pengukuran : Profil melintang
Lokasi : Belakang ITN
Tanggal : 17 November 1987
Nama Ass. : Ir. Herry Wignata
Paraf Ass : .....

Tingkat / jrs : .....
Nama Ketua Group : ..... Paraf : .....

Tempat pesawat	Tinggi pesawat	Titik arah	Pemb Bak ba / bt / bb	Jarak titik thp tempat pesawat	Tinggi: Grs Bidik	Tinggi: Titik	Keterangan / Gambar
3	1,36 m	3a	1,374 / 1,268 / 1,160	21,4	10,998	9,730	
		3b	1,332 / 1,253 / 1,177	15,5	10,998	9,745	
		3c	1,334 / 1,294 / 1,252	8,2	10,998	9,704	
		3d	1,682 / 1,589 / 1,493	18,9	10,998	9,409	
		3e	2,060 / 1,994 / 1,929	13,1	10,998	9,004	
		3f	1,515 / 1,482 / 1,451	6,4	10,998	9,516	
8	1,20 m	b4	1,301 / 1,269 / 1,237	6,4	11,386	10,117	
		b5	1,310 / 1,296 / 1,282	2,8	11,386	10,090	
		b7	1,438 / 1,422 / 1,405	3,3	11,386	9,964	
		b8	1,248 / 1,218 / 1,187	6,1	11,386	10,168	

Gambar 6.20c. **Formulir pengukuran** sipat datar profil melintang

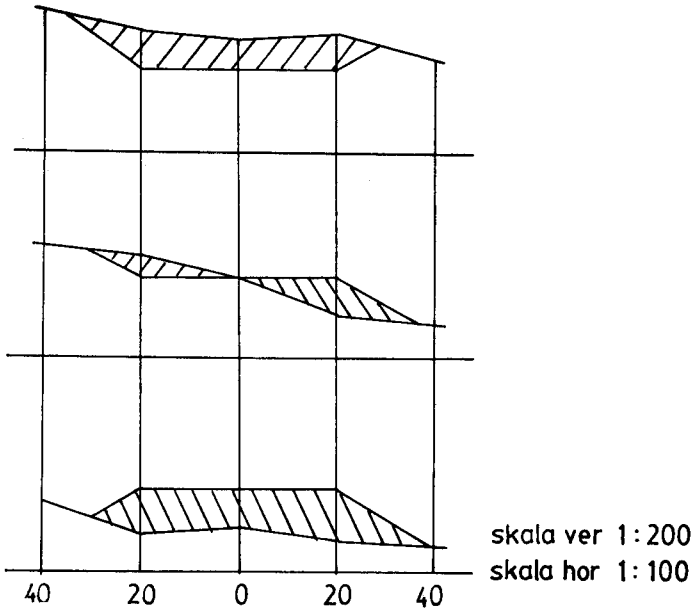
Agar didapatkan gambar yang baik, pada kesempatan di atas juga dilakukan pengukuran jarak mendatar dengan pita ukur. Hal ini juga membantu menentukan batas lebar dari *route* yang akan diukur tersebut. Pada pelaksanaannya pekerjaan potongan melintang ini miring dengan pekerjaan potongan memanjang yaitu juru ukur sebaiknya dibantu oleh tiga orang pembantu ukur.

B. Penggambaran

Penggambaran yang dilakukan juga sangat mirip dengan potongan memanjang, hanya jumlah gambar dengan sendirinya untuk satu potongan memanjang terdapat gambar potongan melintang paling sedikit sebanyak titik ikat yang dibuat, bahkan lebih apabila terdapat belokan pada potongan memanjangnya.

Keterangan :

1. Dalam pengambilan data ukur ini (pembacaan rambu), terdapat beberapa kelainan dibandingkan dengan sipat datar memanjang.
   a. Pembacaan hanya pada benang tengah saja
   b. Kedua benang lainnya tidak diperlukan, karena jarak didapat langsung dari ukuran jarak dengan rantai ukur.



Gambar 6.21 : Potongan melintang

2. Alat ukur berdiri di atas titik as pengukuran, sehingga tinggi garis bidik didapat dengan menjumlahkan tinggi titik tersebut dengan tinggi alat.

6.3.5. Sipat Datar Luas

Pada pengukuran sipat datar luas ini yang umumnya bertujuan untuk menghasilkan peta kontur, selalu dilakukan pembuatan kerangka dasar vertikal terlebih dahulu, untuk selanjutnya dari masing-masing titik kerangka tersebut dilakukan pengukuran ketinggian titik-titik detail yang diperlukan.

Dengan demikian bentuk buku ukur pada pengukuran sipat datar luas ini sangat mirip dengan buku ukur sipat datar memanjang, hanya untuk setiap selang antara kedua data tinggi titik ikat masih terdapat sekelompok data tinggi bagi titik-titik detail.

Sebagai data tambahan yang diperlukan dalam penggambaran, maka setiap alat ukur sipat datar juga dilengkapi dengan pembacaan sudut ataupun arah dari kedua titik yang bersangkutan.

Sehingga buku ukur sipat datar profil sesungguhnya dapat dipakai sebagai buku ukur sipat datar luas ini.

Pengukuran sipat datar luas ini juga merupakan modifikasi dari pengukuran sipat datar memanjang, namun hasil akhir yang diharapkan lebih memperhatikan penyajian grafis dalam bentuk peta kontur. Selain itu ditinjau dari kegunaannya yaitu pengetahuan mengenai relief dan luas dari daerah pemetaan, maka jenis pengukuran ini lebih cenderung untuk membantu para perencana konstruksi, baik bangunan, perumahan maupun jembatan dalam melakukan desainnya secara lebih terarah.

Dengan demikian pengukuran sipat datar yang dilakukan dalam dua tahap, yaitu penyajian kerangka dasar ketinggian dan pengukuran ketinggian titik detail. Yang perlu diperhatikan di sini adalah, alat ukur yang dipakai haruslah mempunyai lingkaran skala horizontal, agar kedudukan horizontal titik detail tersebut dapat digambar nantinya.

Dari pembahasan singkat di atas jelas terlihat, bahwa orientasi bidang horizontal pada peta kontur ini tidak terlalu diperhatikan, atau dengan perkataan lain peta tersebut adalah peta lokal tanpa ikatan arah yang sebenarnya.

6.3.5.1. Pengertian garis kontur

Garis kontur dapat didefinisikan sebagai garis khayal yang

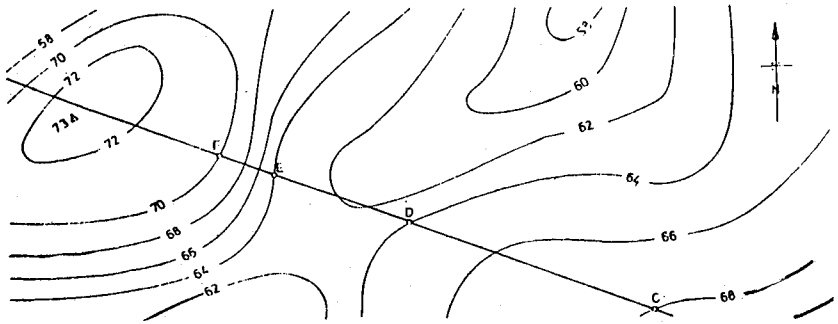
menghubungkan secara berurutan semua titik yang mempunyai ketinggian yang sama terhadap suatu datum ketinggian yang dipilih sebelumnya. Sehingga garis-garis tersebut tidak mungkin akan saling berpotongan selama medan pengukuran tidak terjal atau bentuk patahan tegak lurus.

Dalam peta topografi, selalu dihubungkan besaran skala peta dengan beda garis kontur yang akan digambarkan. Sehingga skala peta tidak hanya mencerminkan aspek horizontal saja, namun juga mempunyai aspek vertikal.

Beda kontur untuk skala 1: xxxx. adalah (xxxx/2000).

Nilai 2000 adalah konstanta beda kontur.

Dengan demikian penyajian data dalam bentuk peta dapat direncanakan sejak pengukuran, maksudnya pengambilan ketinggian titik detail dapat diatur sebaik mungkin dengan persyaratan hanya boleh dilakukan interpolasi garis kontur di antara dua titik detail.



Gambar 6.22. Garis kontur

6.3.5.2. Metoda pengukuran

Sesuai keinginan pemakai peta, terdapat dua cara pengambilan data di lapangan yaitu secara langsung dalam menyajikan ketinggian yang diperlukan dan secara tidak langsung yaitu dengan melakukan pengukuran garis lurus terlebih dahulu.

A. Langsung

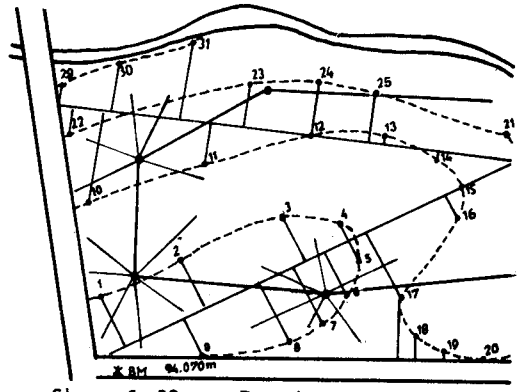
Cara ini umumnya diminta oleh para perencana konstruksi yang tidak terlalu memperhatikan aspek luas, namun lebih cenderung kepada relief dari permukaan daerah yang diukur tersebut.

Misalnya seorang arsitek dalam menyajikan keindahan bangunannya akan memanfaatkan turun naiknya permukaan tanah.

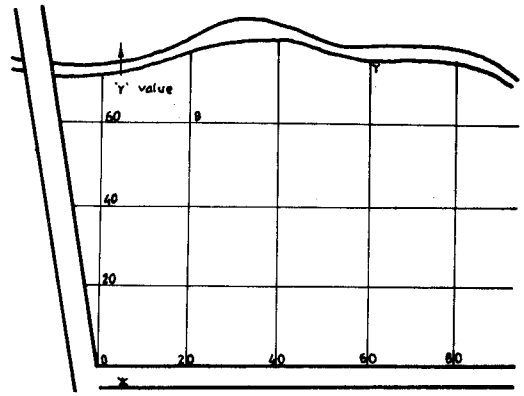
Dengan memperhatikan semua aspek perencanaan dan pelaksanaan pengukuran di atas, yaitu sejak melakukan penyuluhan sampai kepada perencanaan kerja pengukuran, maka penyebaran pilar serta *route* pengukuran sangat berpengaruh dalam keberhasilan kerja ini.

Pekerjaan dilakukan dalam dua tahap, yaitu:

A. Penyajian kerangka vertikal, yaitu pengukuran ketinggian pilar-pilar tetap yang dipasang berdasarkan rencana.
B. Pengukuran ketinggian dan arah titik detail dengan ketentuan yang diturunkan dari skala peta dan penyebaran yang memadai bagi penggambaran garis kontur.



Gbr . 6.23a. : Pengukuran langsung



Gambar 6.23b. : Tak langsung

B. Tak Langsung

Pengukuran ini dimulai dengan permintaan pemakai peta untuk melakukan pembagian daerah pengukuran menjadi kotak persil tanah sesuai dengan yang dikehendaki pemakai, misalnya untuk kapling perumahan. Sehingga jelas terlihat aspek luas lebih penting daripada ketinggian dalam cara tak langsung ini. Untuk pembuatan kotak persil tersebut dilakukan pengukuran garis lurus seperti yang telah dibahas pada bagian terdahulu. Sedangkan pengukuran ketinggiannya sebagian besar dilakukan terhadap titik sudut persil yang telah dibuat tersebut, ditambah dengan beberapa titik detail lainnya yang dianggap perlu.

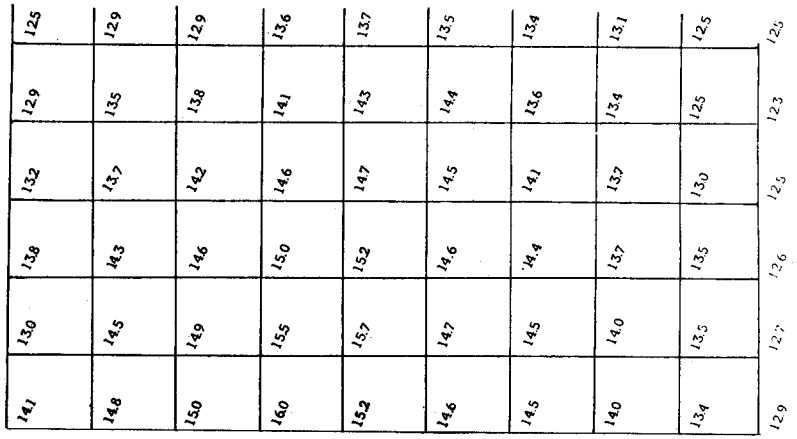
6.3.5.3. Perhitungan

Sebagaimana yang didapat dari pengukuran, yaitu data benang diafragma dan sudut mendatar, maka semuanya dapat diturunkan:

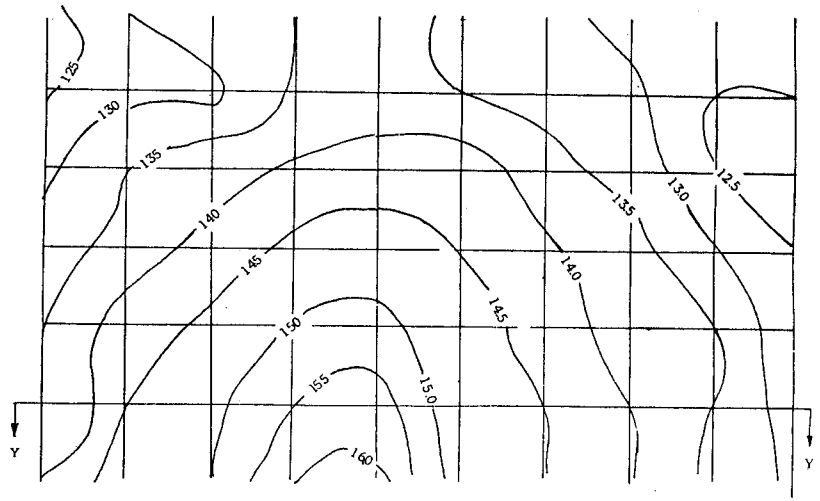
a. data ketinggian pilar (titik ikat)
b. data ketinggian titik detail
c. sudut dan jarak antar titik ikat dan titik detail

6.3.5.4. Penggambaran

Dalam penggambaran, yang umumnya menjadi sandungan adalah kekurangan data titik detail dalam melakukan interpolasi untuk garis kontur. Namun hal ini umumnya terjadi karena kurang pengalamannya pengukur dalam melakukan *setting* titik detail di lapangan.



Gambar 6.24. Plotting data ukur



Gambar 6.25. Plotting garis kontur

6.4. Kesalahan Pengukuran

Seperti halnya pada setiap pengukuran dan pemetaan, maka semua sumber dan efek kesalahan harus diamati untuk selanjutnya dipakai dalam melakukan eliminasi ataupun memperkecil kesalahan pengukuran tersebut. Beberapa kesalahan yang selalu terjadi adalah kesalahan pengukur sendiri, kesalahan pengaturan alat, dan kesalahan yang disebabkan oleh alam.

6.4.1. Jenis Kesalahan Pengukur

Jenis kesalahan ini dapat diklasifikasikan menjadi tiga bagian besar, yaitu kesalahan besar *(gross error)*, kesalahan konstan dan kesalahan acak *(random error)*.

6.4.1.1. Kesalahan besar

Sebagaimana disinggung di atas yang termasuk dalam kesalahan-kesalahan pada bagian ini adalah yang disebabkan oleh si pengukur sendiri. Hal ini umumnya disebabkan oleh kekuranghati-hatian,

kurang pengalaman dan kejemuan yang terjadi karena keletihan, hingga mengakibatkan kesalahan pembacaan rambu ukur, kesalahan pemilihan benang diafragma, kesalahan pembukuan baik karena salah pendengaran ataupun pemasukan data ke dalam kolom yang salah.

A. Kesalahan Pembacaan Rambu

Bentuk kesalahan ini adalah yang paling umum pada pengukuran sipat datar, misalnya kesalahan pembacaan titik desimal, kesalahan membaca harga ukuran dan kesalahan arah besaran rambu.

B. Kesalahan Pembacaan Benang Silang

Umumnya kesalahan pemfokusan bayangan akan menjadikan kesalahpengertian dalam melihat benang silang atau silang garis pada rambu. Hal ini juga dimungkinkan karena pandangan mata yang kurang tajam.

C. Kesalahan Pembukuan

Kesalahan ini, disebabkan karena kekurangtajaman pendengaran penulis, ataupun salah interpretasi, sehingga data yang dituliskan ke dalam buku ukur menjadi salah, misalnya 2.345 menjadi 2.453.

D. Kesalahan Pemasukan Data

Keletihan ataupun kurang cermatnya pengukur serta tidak terbentuknya kerja sama yang baik antara pengukur dan penulis akan menimbulkan kesalahan yang fatal dalam memasukkan data ke dalam kolom yang salah. Hal ini sesungguhnya tidak perlu terjadi seandainya perencanaan terdahulu sudah dilakukan dengan sebaik mungkin.

E. Kesalahan Penepatan Gelembung Nivo

Kecerobohan pengukur dalam menempatkan gelembung nivo, ataupun dalam memperkokoh kedudukan statip di atas tanah yang lembek akan menimbulkan pergeseran gelembung, sehingga hasil pengukuran juga akan mengalami pergeseran kedudukan dari yang sesungguhnya.

Kelima kesalahan di atas, yaitu sebagai akibat dari kecerobohan dapat saja mempunyai variasi yang berbeda, namun walaupun demikian harus dapat dihilangkan dari hasil pengukuran. Sehingga selalu diselenggarakan pengukuran pulang pergi. Tujuan dari pengukuran pulang pergi ini dapat segera mengetahui keteledoran tersebut, yaitu apabila hasilnya berada di bawah toleransi yang dipersyaratkan. Di lain pihak pengukuran pulang pergi ini mempunyai kaitan dalam perencanaannya. Apabila penaksiran situasi lapangan pada saat penyuluhan dapat didekati dengan baik, maka aspek penyebaran pilar yang berkaitan dengan panjang pengukuran per seksi dapat dipersiapkan sebaik dan secukup mungkin. Cara lain yang umumnya selalu dianjurkan adalah melakukan pengukuran dua kali berdiri pada setiap penggal ukuran, maksudnya alat ukur berpindah tempat di sekitar tempat pertama dan kedua rambunya tetap berdiri di tempatnya *(double stand).*

6.4.1.2. Kesalahan Konstan

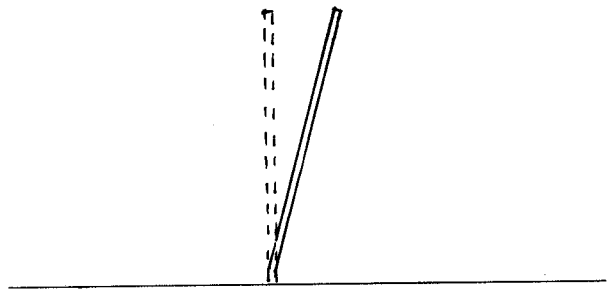
Bentuk-bentuk yang terjadi pada kesalahan ini adalah yang disebabkan oleh ketelitian alat yang sudah mulai berkurang, sehingga bentuk kesalahannya selalu konstan. Beberapa jenis yang selalu timbul adalah, ketidaktegaklurusnya rambu, salah kolimasi alat ukur, dan kesalahan skala rambu serta kesalahan titik nol rambu tersebut.

A. Kesalahan Tegak Rambu

Gerakan arah kanan dan kiri dari pemegang rambu umumnya dapat dikontrol oleh pengukur dengan baik, namun dalam arah muka atau belakang rambu tersebut, sulit diketahui.

Sebagai contoh, pembentukan suatu kemiringan sebesar tiga derajat saja pada rambu sepanjang empat meter, akan menghasilkan penyimpangan pembacaan sebesar (4 - 4 x cos 3) yaitu 0.005 m.

Untuk menghindarkan kesalahan ini sebaiknya pada rambu diberikan sebuah nivo kotak, agar tegaknya rambu dapat dikontrol oleh pemegang rambu.



Gambar 6.26. Kemiringan rambu

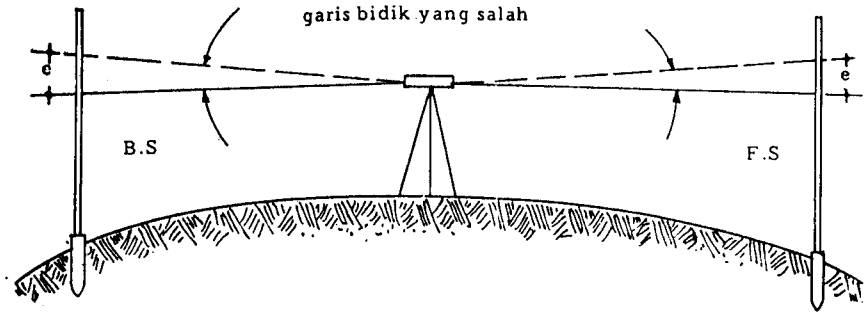
B. Kesalahan Garis Bidik

Untuk alat ukur sipat datar yang telah diatur dengan baik, maka garis bidik haruslah mendatar, yaitu apabila gelembung telah berada di tengah nivo. Dengan sendirinya kalau hal tersebut tidak terpenuhi, maka akan terjadi kesalahan pembacaan rambu.

Namun kesalahan ini dapat dengan mudah diatasi apabila dilakukan pengukuran dengan jarak muka dan belakang yang sama panjang. Hal ini mudah dimengerti dengan pemikiran, bahwa beda tinggi tersebut didapat dari hasil selisih pembacaan terhadap kedua rambu, sehingga kesalahan yang sama besar akan saling menghilangkan pada hasil akhirnya.

Besar sudut yang terjadi karena kemiringan garis bidik tersebut, akan selalu sama besar baik ke arah rambu muka maupun rambu belakang. Sehingga besarnya pergeseran tinggi sebagai akibat kesalahan ini, juga akan hampir sama besar.

Dengan sendirinya, kesalahan tersebut akan persis sama apabila jarak antara alat dengan kedua rambu juga dipertahankan sama panjangnya.



Gambar 6.27. Kesalahan garis bidik

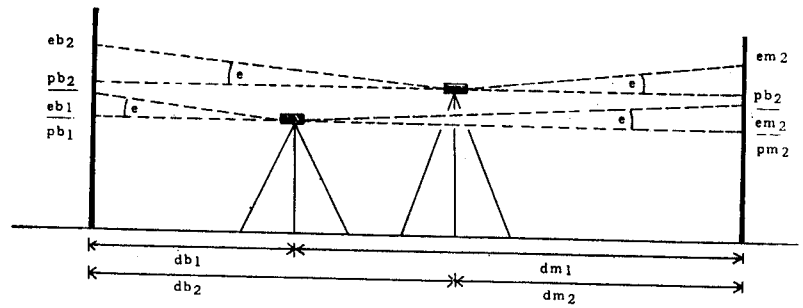
Secara aljabar dapat ditulis seperti di bawah ini, dan terlihat kesalahan tersebut akan saling menghilangkan.

$$\delta h = ((bt_i) + e) - (bt_{i+1} + e) \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (6.9)$$

Namun perlu juga diketahui besarnya salah garis bidik tersebut dalam bentuk rumus yang umum dikenal dengan salah kolimasi. Hal ini disebabkan oleh pengertian bahwa tidak selalu mungkin membuat jarak ke muka dan ke belakang sama panjang, sehingga hasil

ukurannya dapat segera direduksi dengan memakai rumus yang berlaku tersebut.

Untuk maksud tersebut dilakukan dua kali pengukuran, dengan posisi rambu yang tidak berubah, sehingga didapatkan hasil pengukuran sebagai berikut,



Gambar 6.28. Penelitian salah kolimasi

Apabila: kesalahan pembacaan rambu muka = em_i,
pembacaan yang benar pada rambu muka = pm_i,
kesalahan pembacaan rambu belakang = eb_i,
pembacaan yang benar pada rambu belakang = pb_i,
kesalahan kolimasi (kemiringan garis bidik) = e
jarak ke rambu muka = dm_i, dan
jarak ke rambu belakang = db_i
untuk i = 1 dan 2 (jumlah pembacaan)

Dari hasil pengukuran sebanyak i (i = 1,2) didapat hubungan sebagai berikut,

$pb_i = eb_i - pb_i\ eb_i$, atau
$eb_i - db_i$ tg e, dan

$pm_i = em_i - pm_i\ em_i$, atau
$em_i - dm_i$ tg e

Sehingga beda tinggi kedua titik tersebut adalah:

$(pb_i - pm_i) = (eb_i - em_i) - (db_i - dm_i)$ tg e
untuk i = 2, maka sesuai dengan asumsi di atas, karena:
$(pb_i - pm_i) = (pb_2 - pm_2)$, maka didapat hubungan,
$(eb_1 - em_1) - (db_1 - dm_1)$ tg e =
$(eb_2 - em_2) - (db_2\ dm_2)$ tg e

$$\text{tg } e = \frac{\{\ (eb_1 - em_1) - (eb_2 - em_2)\ \}}{\{\ (db_1 - dm_1) - (db_2 - dm_2)\ \}} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (6.10)$$

Suatu asumsi yang patut dipegang dalam penentuan nilai kesalahan ini adalah, bahwa besarnya kesalahan sama besar dan hasil pengukuran adalah sama, disebabkan pengukuran yang dilakukan pada rambu yang sama.

C. Kesalahan Skala Rambu
Umumnya skala rambu telah ditera dengan baik, apabila pembuat rambu tersebut adalah perusahaan yang baik. Namun saat sekarang banyak pembuat rambu amatir yang membuat rambu dengan skala yang tidak terlalu baik. Untuk mengatasi kesalahan tersebut, maka sebaiknya selalu dilakukan kalibrasi rambu terlebih dahulu. Sehingga semua hasil pengukuran dapat dikonversi sesuai dengan nilai yang sebenarnya.

D. Kesalahan Titik Nol Rambu
Kesalahan ini umumnya terjadi karena pemakaian rambu yang telah tua, dan nilai kesalahannya tidaklah selalu sama besar untuk setiap rambu tersebut.

Untuk mengatasi kesalahan ini, maka selalu diusahakan agar jumlah langkah dalam satu seksi pengukuran adalah genap. Hal ini berhubungan dengan usaha, membuat pengukuran dengan posisi rambu yang selalu sama, maksudnya apabila rambu pertama berada pada arah belakang pada awal pengukuran, maka hendaklah demikian pada akhir pengukuran tersebut.

6.4.1.3. Kesalahan Acak
Dalam kelompok kesalahan ini, umumnya terjadi sebagai akibat dari kondisi cuaca, alam bahkan pengukurnya sendiri. Sekalipun nilainya

cukup kecil, namun perlu diperhatikan untuk mendapatkan hasil yang memuaskan.

Beberapa jenis penyebabnya adalah, sebagai akibat dari suhu dan angin, keadaan tanah, pergeseran dudukan rambu (titik), dan kesalahan pengukurnya sendiri.

A. Akibat Angin dan Suhu
Angin pada prinsipnya sangat berpengaruh pada kestabilan kedudukan alat-alat ukur, demikian pula suhu akan berpengaruh pada pemuaian dari gelas-gelas nivo ataupun alat secara keseluruhan.

B. Akibat Kekuatan Tanah
Hal ini kait-berkait dengan kestabilan dari kedudukan alat, yang pada tanah kurang kuat perlu perhatian yang cukup serius, agar pada saat pengukuran tidak terjadi perubahan kedudukan alat.

C. Akibat Pergeseran Titik
Pada saat perpindahan alat, umumnya pemegang rambu menurunkan rambunya dari dudukan rambu (titik) yang bersangkutan. Padahal titik sebelah muka akan menjadi titik sebelah belakang pada langkah selanjutnya. Kebiasaan pemegang rambu tersebut, sesungguhnya akan berpengaruh apabila rambu ditempatkan kembali, yaitu bagi pengukuran selanjutnya. Kemungkinan yang terjadi adalah pergeseran titik secara radial, ataupun perubahan tinggi titik sebagai benturan penempatan rambu kembali.

D. Akibat Pengukur
Umumnya kesalahan selanjutnya adalah disebabkan pengukur yang kurang pengalaman ataupun memiliki kelemahan dalam penglihatan. Untuk mengatasi masalah ini memang tidak ada lagi cara lain selain melakukan peningkatan ketrampilan juru ukur, ataupun menggantinya dengan pengukur yang lebih baik.

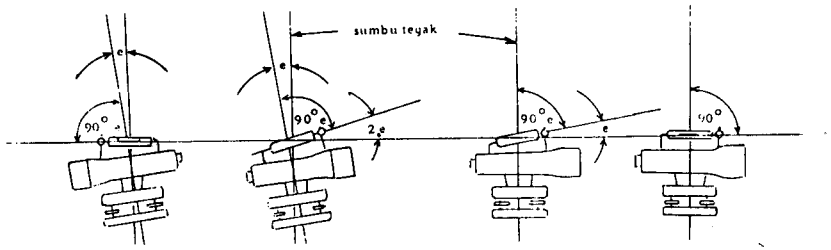
6.4.2. Pengaturan Alat
Sebagaimana yang telah disinggung pada bagian awal pembahasan sipat datar ini, aspek pengamanan alat ukur sangat berpengaruh bagi keberhasilan pelaksanaan pekerjaan ukur sipat datar tersebut. Memang salah alat yang paling utama di sini adalah salah kolimasi, dan teknik pengaturannya ternyata berbeda pada ketiga jenis alat sipat datar.

6.4.2.1. Dumpy level

Dua buah syarat yang perlu dijawab dalam masalah kolimasi pada alat *dumpy level* ini adalah, sumbu tegak benar-benar tegak apabila gelembung nivo sudah di tengahnya, dan garis bidik harus sejajar dengan garis nivo yang benar tersebut.

A. Sumbu Tegak

1. Letakkan sumbu teropong sejajar dengan dua buah sekrup penyetel, dan ketengahkan gelembung nivo dengan menggunakan kedua sekrup tersebut. Andaikan kesalahan tersebut = e.
2. Putarkan teropong 90 derajat, atau sumbu teropong berada di atas sekrup penyetel ketiga, dan aturlah kembali gelembung nivo tersebut dengan hanya menggunakan sekrup ketiga.
3. Ulangi kedua langkah di atas sehingga gelembung nivo tetap berada di tengah. (Ingat bahwa kesalahan tersebut tetap diandaikan sebesar e).
4. Pada kedudukan pertama kesalahan yang terdapat adalah sebesar e, namun pada kedudukan kedua, ketika teropong diputar sebesar 180 derajat, maka kemiringan sumbu yang terjadi adalah sebesar 2e. Besaran 2e tersebut dapat dilihat dengan menggesernya gelembung nivo, misalnya sebesar n.



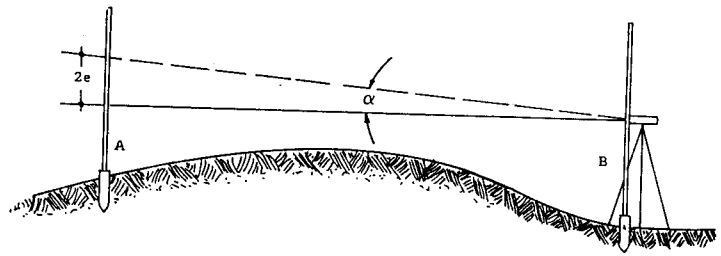
Gambar 6.29. Pengaturan sumbu tegak

5. Kembalikan gelembung nivo ke arah tengah dengan satu sekrup penyetel yang bersangkutan, yaitu sebesar n/2 bagian skala.
6. Kembalikan gelembung nivo ke tengah, dengan menyetel sekrup tabung nivo, yaitu sebesar n/2 bagian skala sisanya.
7. Ulangi pekerjaan tersebut, sehingga gelembung nivo tetap berada di tengah tabung nivo.

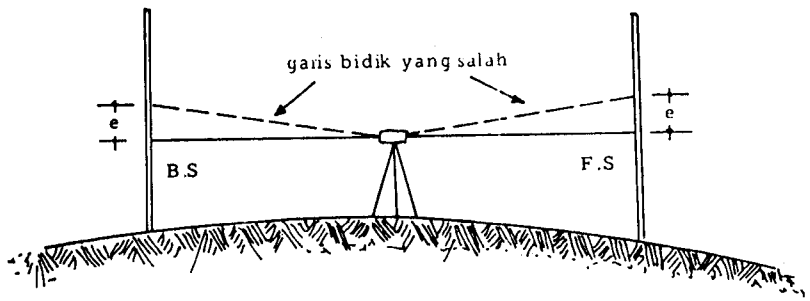
B. Garis Kolimasi

Secara praktis, kesalahan ini, dapat ditanggulangi memakai cara yang telah dijelaskan di atas, namun tetap dianjurkan agar salah kolimasi ini dapat dihilangkan secara tuntas dari alat ukur tersebut.

1. Letakkan dua buah rambu di atas dua buah titik dengan jarak 60 meter.
2. Letakkan alat ukur yang akan diatur tersebut di antara dan di tengah kedua rambu di atas.
3. Bidiklah rambu I dan baca ketinggian benang tengahnya.
4. Bidiklah rambu II dan aturlah ketinggian titik tersebut sampai sama dengan hasil pembacaan rambu I tersebut.
5. Pindahkan alat ke dekat titik B. sehingga *eyepiece* tepat pada rambu tersebut. Baca ketinggiannya pada rambu B.

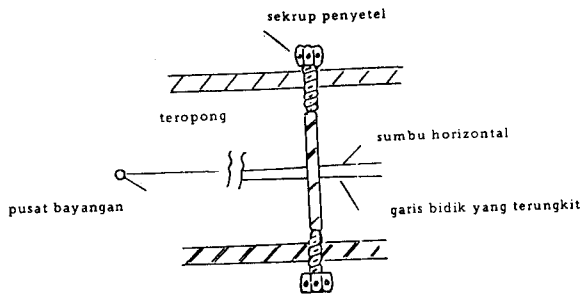


Gambar 6.30. Pengaturan garis kolimasi kedudukan I.



Gambar 6.31. Pengaturan garis kolimasi kedudukan II.

6. Arahkan teropong ke titik A, dan pembacaannya haruslah sama dengan yang didapat dari rambu B. Apabila tidak, maka ini berarti terdapat kesalahan kolimasi tersebut.



Gambar 6.32. Pengaturan sekrup kolimasi.

7. Aturlah sekrup di atas sehingga pembacaan pada rambu A seperti pada rambu B.
8. Lakukanlah langkah pekerjaan di atas sehingga kesalahan garis kolimasi hilang sama sekali.

6.4.2.2. Tilting level

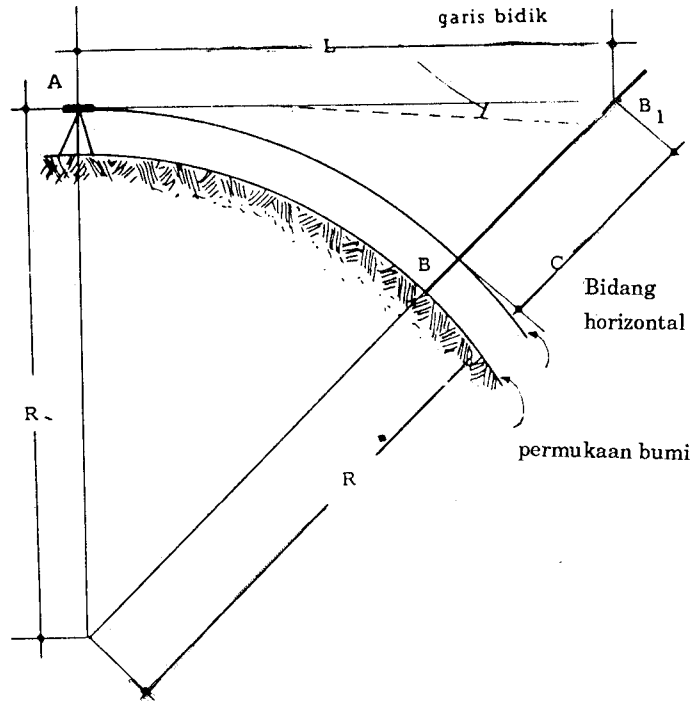
Pada jenis alat sipat datar ini, kedua masalah yang terdapat pada *dumpy level* juga perlu pengaturan. Namun kesalahan sumbu tegak dapat diatasi langsung dengan menggunakan nivo kotak yang tersedia. Sedangkan pengaturan untuk kesalahan garis kolimasi juga dapat dilakukan dengan cara yang sama seperti di atas.

6.4.2.3. Automatic Level

Hal yang sama juga terdapat pada alat ukur ini, yaitu peletakan kedudukan sumbu tegak dapat segera diatasi dengan menggunakan nivo kotak yang tersedia. Pengaturan garis kolimasi juga dilakukan dengan cara yang sama seperti pada alat *dumpy level.*

6.4.3. Kelengkungan Bumi Dan Refraksi

Pengertian mengenai kelengkungan bumi dan efek refraksi perlu pula ditambahkan dalam bagian ini. Hal ini disebabkan oleh bentuk pengukuran yang memanjang ataupun pada pengukuran sipat datar resiprokal digunakan sisi yang ekstrim berbeda jarak. Namun kedua pengaruh tersebut akan diuraikan sekaligus.



Gambar 6.33. Efek kelengkungan bumi dan refraksi.

Dalam penguraian masalah ini, bumi dimisalkan sebagai suatu bulatan sempurna dengan jari-jari sebesar R, dan garis nivo akan melengkung sesuai dengan permukaan bumi, namun garis pandangan akan selalu mendatar yaitu tegak lurus terhadap garis gaya berat di tempat pengamatan.

Dengan memanfaatkan rumus Phytagoras, didapat

$$(R+c)^2 = R^2+L^2$$

$$R^2 + c^2 + 2Rc = R^2 + L^2$$

Sehingga:

$$c\ (c\ +\ 2R) = L^2$$

$$c = L^2 / (c + 2R)$$

Dengan nilai c yang cukup kecil dibandingkan dengan harga R (jari-jari bumi) yaitu 6370 km, maka:

$$c = 0{,}0785\ L^2\ m, \quad \ldots\ldots (6.11)$$

L tetap dalam km.

Selanjutnya efek refraksi masih perlu diperhitungkan, karena memang efek ini akan membuat garis pandangan tidak terlalu mendatar, tetapi melengkung ke arah permukaan bumi.

Secara empiris dari data-data acak yang diteliti, ternyata besarnya pengaruh refraksi tersebut adalah sekitar 1/7 efek kelengkungan dan mempunyai tanda yang berlawanan. Dengan demikian total koreksi yang patut diberikan pada hasil pengukuran tersebut adalah :

$$c = 6/7\ (0{,}0785\ L^2) + 0{,}0673\ L^2 \quad \ldots\ldots (6.12)$$

6.5. Rangkuman 6

Dari beberapa teknik pengukuran beda tinggi, misalnya dengan barometris atau trigonometris, maka teknik pengukuran sipat datar ini adalah yang paling teliti dan sederhana pelaksanaannya. Sekalipun pembentukan bidang horizontal yang diperlukan mengandalkan garis gaya gravitasi, namun untuk penggalan pengukuran *(slag)* yang cukup pendek dianggap perubahan massa tidak terlalu berpengaruh. Oleh sebab itu perjumlahan hasil ukuran dari penggal pengukuran yang cukup pendek (sesuai dengan jarak efektif alat), dapat ditoleransi untuk dinyatakan sebagai beda tinggi yang sahih, *(valid)* dan terandalkan *(reliable)*.

Semua jenis peralatan sesungguhnya merupakan pengembangan dari alat *dumpy* yang sederhana, berkembang menjadi alat yang menggunakan sekrup pengungkit dan berlanjut menjadi alat otomatik. Alat ukur terakhir memanfaatkan bandul sebagai perantara yang selalu membuat garis bidik mendatar. (Sinaga, 81).

Dengan menggunakan peralatan tersebut hampir semua jenis pengukuran dapat dilakukan, kecuali pengukuran sipat datar resiprokal yang memerlukan alat *tilting level*, sebagai alat ukurnya. Sipat datar memanjang dan sipat datar resiprokal bertindak memindahkan titik dari satu titik ke titik lainnya dan pekerjaan berakhir dengan informasi yang bersifat data numerik. Lain halnya dengan sipat datar profil dan sipat datar luas, keduanya berakhir dengan informasi grafis.

Sebagaimana dimaklumi, maka semua jenis pengukuran akan mengidap kesalahan, baik yang terjadi pada saat pengukuran, pengolahan data maupun penggambaran. Demikian pula kesalahan tersebut dapat terjadi sebagai kesalahan konstan, pengukuran dan oleh sebab keterbatasan kemampuan manusia.

6.6. Latihan 6

1. Sifat utama yang melatarbelakangi pengukuran beda tinggi dengan cara sipat datar adalah penyipatan pada kedudukan mendatar. Hal ini berarti, bahwa kedudukan alat sipat datar *(waterpas)* sewaktu mengukur, *kecuali:*
   a. mendatar di tempat pengamat
   b. selalu mendatar
   c. tegak lurus garis gravitasi
   d. selalu menyipat datar

2. Pengertian mendatar pada pengukuran sipat datar ini adalah, bahwa pada saat pengamatan, maka kedudukan:
   a. alat ukur mendatar
   b. garis nivo mendatar
   c. bidang nivo mendatar
   d. garis bidik mendatar

3. Dari rumus beda tinggi didapat hubungan antara titik sebelumnya dengan titik selanjutnya. Hal ini menyiratkan, bahwa tinggi titik awal harus diketahui terlebih dahulu. Untuk pengukuran tinggi tingkat Nasional, maka titik awal ini didapat dari:
   a. koordinat lokal
   b. koordinat nol
   c. permukaan air laut rata-rata
   d. geoid

4. Tinggi titik nol hasil pengamatan tinggi air laut rata-rata di tempat yang berbeda akan berbeda pula hasilnya, sekalipun diukur untuk waktu yang cukup panjang serta memperhatikan pelbagai distorsi yang terjadi. Hal ini disebabkan *kecuali* oleh:
   a. gaya endogen
   b. gaya eksogen
   c. distribusi massa bumi
   d. pasang surut air laut

5. Terdapat beberapa alat untuk pengukuran sipat datar dengan berbagai tingkat ketelitian. Alat-alat tersebut diklasifikasikan menjadi tiga jenis, *kecuali*:
   a. *dumpy level*
   b. alat otomatik
   c. alat dengan pengungkit
   d. *waterpas*

6. Bagian dari alat ukur dengan pengungkit yang paling utama terdiri dari tiga bagian seperti di bawah ini, *kecuali:*
   a. Dudukan alat
   b. alat pengungkit
   c. Teropong
   d. nivo

7. Perbedaan yang menyolok di antara alat ukur dengan pengungkit dan alat otomatik adalah, bahwa alat ukur dengan pengungkit memiliki kelebihan dalam hal:
   a. dapat sangat teliti
   b. dapat diatur
   c. dapat diungkit
   d. tidak ada yang benar

8. Pengaturan jarak pilar dalam kerangka vertikal harus disajikan dengan baik, yaitu sesuai dengan kajian terhadap hasil penyuluhan yang dilakukan. Hal ini berkaitan dengan hasil yang didapatkan nantinya, karena jarak yang sama akan memberikan:
   a. bobot yang sama
   b. ketelitian ukur yang sama
   b. keletihan juru ukur yang sama
   d. tidak aestetis

9. Jenis pengukuran sipat datar yang berakhir penyajian data hasil hitungan tanpa penyajian data grafis berbeda dengan yang disajikan sampai data grafis. Perbedaan ini merupakan pegangan pengukur dalam:
   a. pemilihan alat ukur
   b. ketelitian pengukuran
   c. ketelitian pengambilan detail
   d. ketelitian gambar

10. Sipat datar resiprokal, sesungguhnya adalah sipat datar memanjang dalam kondisi tertentu. Oleh sebab itu pengukuran benang tengah tetap dilaksanakan dengan cara interpolasi hasil pengukuran melalui target ukur. Kelemahan utama dari sipat datar ini adalah:
    a. tanah yang lunak
    b. alat ukur yang terlalu peka
    c. perubahan cuaca
    d. tidak ada yang benar

11. Sipat datar profil memerlukan ketelitian peta yang tinggi, oleh sebab itu jarak selalu diukur dengan pita ukur. Hal ini juga tersifat *kecuali* dalam pernyataan:
    a. skala ketinggian yang berbeda
    b. skala peta yang besar
    c. skala peta yang kecil
    d. tidak ada yang benar

12. Sipat datar profil melintang selalu dilakukan tegak lurus kepada arah pergi dan datang dari sipat datar memanjang, dan juga mempunyai selalu mengambil jarak yang sama. Hal ini bertalian dengan:
    a. ketelitian pengukuran
    b. ketelitian hitungan
    c. perhitungan luas
    d. perhitungan volume

13. Pengukuran sipat datar luas bertujuan untuk mendapatkan luas dari daerah pengukuran baik secara langsung, maupun tak langsung. Untuk secara tak langsung, perhitungan luasnya dilakukan terhadap:
    a. kontur yang tersedia
    b. gambar yang tersedia
    c. kerangka yang dibangun
    d. tidak dilakukan pada gambar

14. Untuk mengatasi pelbagai kesalahan sistematis yang terdapat dalam pengukuran sipat datar, perlu dilakukan pengaturan bagian alat, kecuali:
    a. nivo
    b. *reticule*
    c. titik nol rambu
    d. garis bidik

BAB VII
PENGUKURAN SUDUT

Pengukuran sudut pada pemetaan digunakan sebagai bagian dari penentuan kerangka dasar bagi pemetaan daerah yang bersangkutan. Kerangka dasar pemetaan yang diperlukan tersebut adalah:

a. kerangka dasar horizontal, dan
b. kerangka dasar vertikal.

Mengenai kerangka dasar vertikal sudah disinggung secara mendalam pada pembahasan sipat datar (lihat bab keenam) mengenai pengukuran beda tinggi, juga mungkin didapatkan dari sudut vertikal dan jarak miring dari kedua titik yang bersangkutan. Mereka bersama-sama akan memberikan jarak mendatar dan beda tinggi yang diperlukan untuk perhitungan selanjutnya. Untuk penentuan kerangka dasar horizontal yang membutuhkan data jarak juga telah dibahas pada pengukuran jarak (lihat bab kelima) sehingga untuk kelengkapan data pengolahan kerangka dasar horizontal masih diperlukan pengetahuan tentang pengukuran sudut.

Sebagaimana pada bab-bab yang terdahulu, maka pada bab ketujuh ini juga akan dibahas pemanfaatan data ukuran tersebut secara tuntas dalam beberapa teknik penentuan koordinat.

Salah satu cara dalam menentukan koordinat-koordinat dari beberapa titik adalah dengan menggunakan cara pengukuran yang dinamakan metode Poligon. Metode ini diterapkan dengan membuat titik-titik sepanjang lokasi proyek dan dihubungkan satu sama lain secara berturutan sehingga terbentuk gambaran segi banyak.

Cara lain adalah dengan melakukan pengukuran pengikatan baik cara ke muka maupun cara ke belakang, yang sepenuhnya mengandalkan data hasil ukuran sudut dan koordinat dari beberapa titik ikat yang telah diketahui sebelumnya.

7.1. Pendahuluan

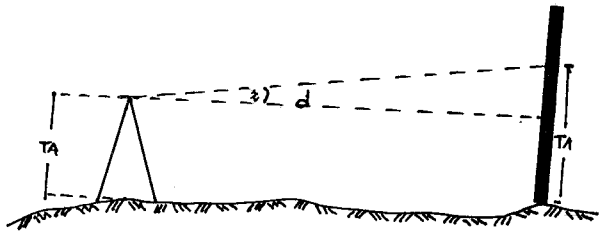
Seperti telah disinggung di atas, data-data yang diperlukan dalam hitungan koordinat adalah:

1. Jarak dari tiap sisi Poligon (di ; i = 1 s/d n).
2. Sudut-sudut antara dua sisi (s), dan
3. Azimuth awal yang merupakan azimuth akhir pada poligon tertutup (α) atau azimuth sisi akhir pada poligon terbuka.

Demikian pula telah disinggung di atas terdapat tiga cara yang umum dilakukan dalam menentukan jarak antara dua buah titik di permukaan bumi, yaitu dengan mengukur langsung dan tidak langsung.

a. Jarak sisi-sisi poligon didapat dengan melakukan pengukuran dengan menggunakan pita ukur (meteran) atau EDM yang telah disediakan sebagaimana yang telah diuraikan di dalam bab V.
b. Jarak tak langsung didapat dengan menggunakan alat ukur theodolite dan rambu ukur, yaitu jarak tachimetri. Pada salah satu titik dari satu sisi yang akan diukur tersebut, dicatat (setelah rambu ukur dibidik dari alat theodolite) sudut vertikal (z), benang-atas (ba), benang-tengah (bt), benang-bawah (bb). Selanjutnya dengan menggunakan rumus di bawah ini dapat dihitung jarak datar.

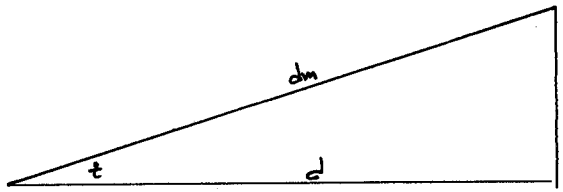
$$d = (ba - bb).\ 100.\ \sin^2 z \quad \ldots\ldots (7.1)$$



Gambar 7.1. Jarak tachimetri

c. Jarak trigonometris yang didapat dengan mengukur jarak (dm dan sudut miring (Z). Umumnya teknik pengukuran jarak ini dipakai untuk jarak yang cukup jauh.

$$d = d_m \sin Z \quad \ldots\ldots (7.2)$$



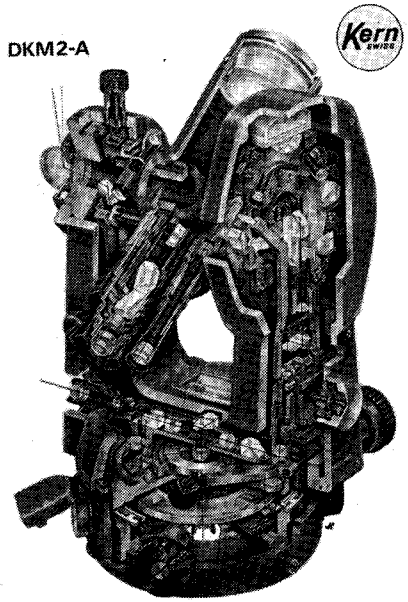
Gambar 7.2. Jarak Trigonometris

7.2. Peralatan Ukur Sudut

Untuk dapat menyelesaikan pengukuran di atas, diperlukan alat ukur theodolite yang dibantu oleh beberapa alat pembantu lainnya seperti statip, rantai ukur, rambu dan unting-unting.

7.2.1. Theodolite

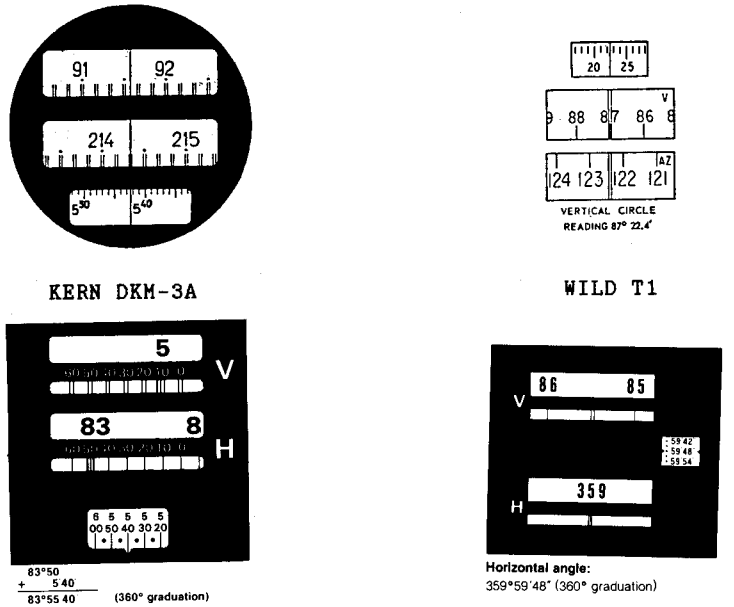
Alat ukur ini dilengkapi dengan dua buah lingkaran pembacaan yang digunakan untuk penentuan sudut vertikal dan horizontal. Beberapa bagian penting lainnya adalah teropong dan nivo yang fungsinya sama dengan yang terdapat pada alat ukur sipat datar.



Gambar 7.3. Theodolite KERN DKM2-A

Beberapa jenis theodolite baik merek maupun yang memiliki perbedaan tingkat ketelitian banyak dipakai di lapangan. Sehingga pemilihan merek maupun tingkat ketelitian alat umumnya sangat tergantung dengan permintaan pemakai peta.

Di bawah ini dicantumkan beberapa spesifikasi dari theodolite yang umum dikenal dan dipakai oleh pembuat peta. Pemilihan alat dengan sendirinya mempunyai hubungan sangat erat dengan ketelitian hasil ukuran yang diminta pemberi pekerjaan.

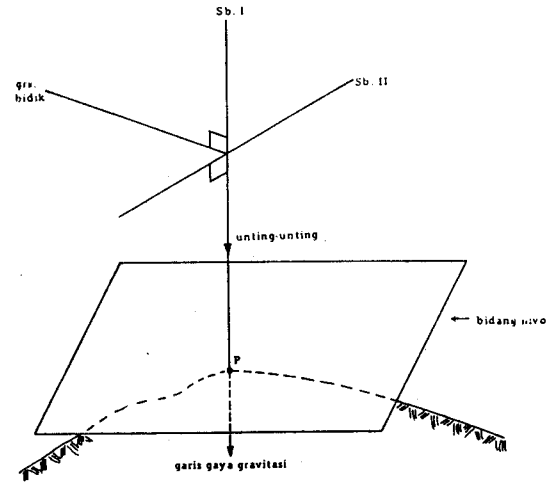


Gambar 7.4. Beberapa cara pembacaan sudut.

Pengaturan yang diperlukan alat tersebut adalah:

1. Semua kedudukan sumbu sudah dalam keadaan baik, yaitu
   a. sumbu I sudah tegak
   b. sumbu II sudah tegak lurus sumbu I (mendatar)
   c. sumbu lensa (// garis bidik) sudah tegak lurus terhadap sumbu II.
2. Semua kedudukan gelembung nivo telah diatur dengan baik.
3. Salah index telah dihilangkan.
4. Alat ukur telah ter - "centering" dengan baik.

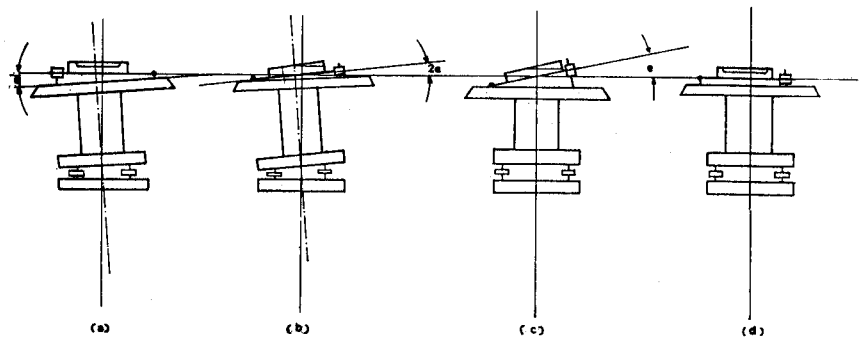
Dalam keadaan sempurna kedudukan sumbu-sumbu alat ukur harus saling tegak lurus seperti yang terlihat dalam gambar di bawah ini. Sumbu I tegak lurus terhadap bidang mendatar yang dibentuk oleh gelembung nivo, (bidang nivo) di titik pengamatan atau dengan perkataan lain berimpit dengan garis gaya gravitasi di titik pengamatan. Sumbu II harus tegak lurus sumbu I dan sumbu optis alat. Sedangkan garis bidik berimpit dengan sumbu optis. Dengan demikian ketiga sumbu tersebut harus saling tegak lurus.



Gambar 7.6. Kedudukan antar sumbu alat ukur.

7.2.1.1. Pengaturan sumbu I

Sebagaimana yang telah disinggung pada bagian terdahulu, maka seluruh ukuran akan berorientasi terhadap bidang nivo yang menyinggung titik yang bersangkutan. Sehingga data hasil ukuran dapat ditransformasikan ke atas bidang referensi ukuran yang dipilih (geoid). Untuk mendapatkan bidang tersebut, maka alat yang dipakai adalah nivo yang dapat menunjukkan garis gaya gravitasi yang melalui titik tersebut.



Gambar 7.7. Pengaturan sumbu I

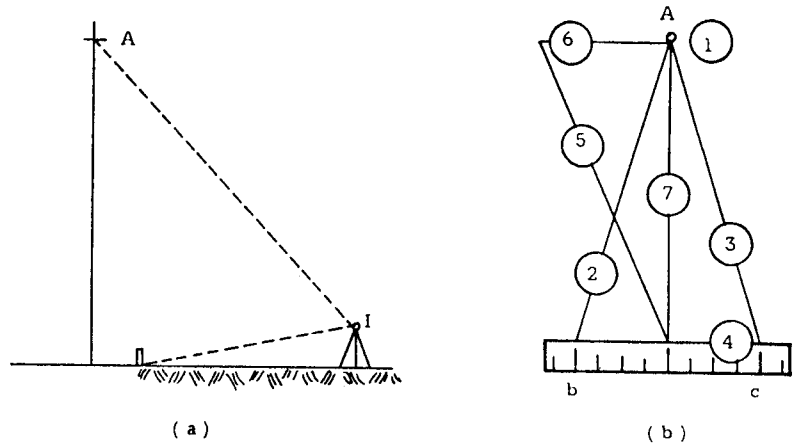
Kesalahan kedudukan sumbu I ini dapat dengan mudah diketahui, apabila nivo sulit diketengahkan, sekalipun tata cara pengaturan telah lengkap diikuti. Untuk mengatur kedudukan sumbu I ini dapat dilakukan prosedur sebagai berikut:

a. Catat pergeseran gelembung nivo dalam dua kedudukan yang bertolak belakang, lihat gambar (7.7a, dan 7.7b), misalkan hasilnya adalah n selang skala.
b. Dengan menggunakan sekrup penyetel, gelembung nivo digeser ke arah tengah sebesar n/2 selang skala, (gambar 7.7.c)
c. Geserlah sisanya (n/2 selang skala) sehingga gelembung nivo berada di tengah dengan menggunakan sekrup koreksi nivo, lihat gambar (7.7d).

Prosedur ini dapat diulang apabila nivo belum tetap di tengah untuk semua arah. Sekalipun nilai kesalahan ini sangat kecil, namun penggandaan berulang akan menyebabkan penumpukan kesalahan yang berakibat besar.

7.2.1.2. Pengaturan sumbu II

Setelah sumbu I diatur berimpit dengan gaya gravitasi di atas titik tersebut, yaitu dengan mengetengahkan gelembung nivo, maka lanjutnya perlu pula diketahui apakah bidang mendatarnya yang diwakili oleh sumbu II sudah tegak lurus sumbu I tersebut.



Gambar 7.8. Pengaturan sumbu II

Kesalahan sumbu II ini dapat diketahui dengan melakukan percobaan sebagai berikut:

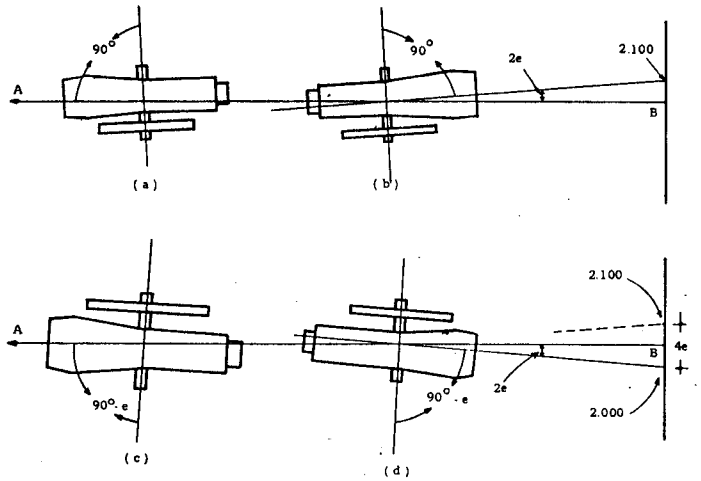
a. Setelah alat diatur dengan baik, maka arahkan alat ke target A, dengan sudut vertikal sebesar kurang lebih $\pm 60^0$.
b. Arahkan bidikan selanjutnya ke target mendatar yang terletak di lantai, misalnya bacaan lingkaran adalah b^0.
c. Ulangi pengamatan tersebut dalam kedudukan luar biasa, dan apabila hasilnya adalah c^0, maka perbedaan hasil ini menunjukkan. bahwa kedudukan sumbu II belum mendatar.

Ternyata terdapat perbedaan bacaan pada kedudukan B dan LB. Untuk menghilangkan kesalahan ini dari alat ukur tersebut, maka tahapan di bawah dapat dilakukan dengan mengikuti nomor petunjuk yang terdapat pada gambar (7.8b).

a. Tepatkan teropong pada pembacaan $\{ (b-c)/2 \}^0$, yaitu merubah sudut e yang berada pada puncak segitiga.
b. Apabila teropong digerakkan ke atas, maka target A tidak lagi terletak pada benang vertikal, tetapi di sampingnya.
c. Geserlah kedudukan benang vertikal tersebut ke target A dengan menggunakan sekrup pengatur sumbu yang tersedia.

7.2.1.3. Pengaturan garis bidik

Garis bidik juga sering dikatakan sebagai sumbu optis, yaitu garis yang menghubungkan pusat lensa obyektif dengan benang silang pada gelas diafragma. Kesalahan garis bidik yang terjadi adalah sebagai berikut:



Gambar 7.9. Pengaturan garis bidik

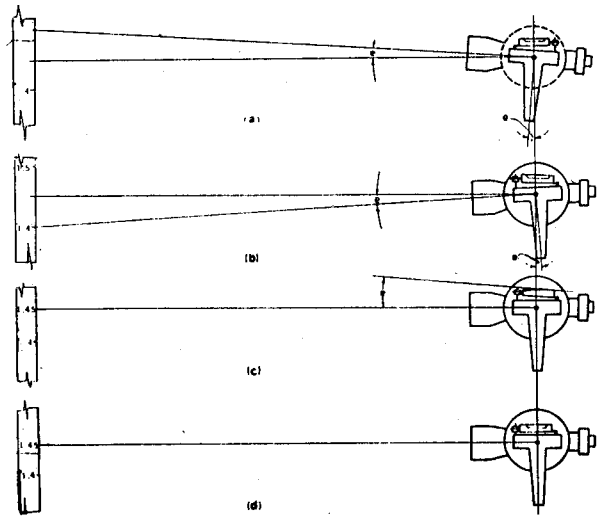
a. Arahkan teropong ke target A yang jauh, misalkan pembacaan yang dihasilkannya mengidap kesalahan sebesar e.
b. Apabila teropong diarahkan ke target B yang berlawanan dengan target A, maka kesalahan yang diidapnya adalah 2e.
c. Apabila teropong diputar dalam kedudukan luar biasa, dan dibaca kembali target di atas, maka kesalahan yang terjadi pada target B adalah 4e, (lihat gambar 7.9d).

Untuk menghilangkan kesalahan ini dapat dilakukan prosedur di bawah ini:

a. Besar kesalahan yang terjadi dalam seri pengukuran tersebut di atas adalah 4e, maka besar pergeseran yang perlu dilakukan adalah seperempatnya atau sebesar e.
b. Pengaturan dilakukan dengan menggunakan sekrup penyetel sambil membidik rambu yang menunjukkan besarnya pergeseran sebesar e tersebut.

7.2.1.4. Pengaturan salah indeks

Salah indeks adalah tidak tepatnya kedudukan mendatar teropong pada saat lingkaran vertikal menunjukkan nol. Artinya kedudukan gelembung nivo tidak di tengah pada saat pembacaan lingkaran vertikal sama dengan 0^0. Hal ini diketahui dengan melakukan percobaan berikut:



Gambar 7.10. Pengaturan salah indeks

a. Aturlah alat dengan baik dalam kedudukan B dan teropong dalam kedudukan mendatar, artinya pada pembacaan lingkaran vertikal sebesar 0^0.
b. Bidiklah rambu ukur dan bacalah penunjukan benang mendatarnya, misalkan x.
c. Putar teropong dalam kedudukan LB dan kembali bidik rambu ukur di atas, dan pembacaannya adalah y.

Selisih pembacaan tersebut adalah salah indeks yang dicari. Untuk menghilangkannya dapat diikuti prosedur berikut:

a. Perbedaan pembacaan yang terjadi (y-x) di atas, adalah 2e yang sesungguhnya, (lihat gambar 7.10a dan 7.10b).
b. Aturlah kedudukannya setengah pembacaan tersebut dengan sekrup penyetel.
c. Hal ini akan menggeser gelembung nivo, kembalikan nivo dengan menggunakan sekrup penyetelnya.

Proyek Pembinaan Perpustakaan
Jawa Timur
T. A. [illegible]

7.2.1.5. Cara centering alat theodolite

Untuk dapat memakai alat ukur sudut ini, maka perlu dilakukan beberapa pengaturan pada beberapa bagian alat ukur itu di atas patok yang merupakan titik sudut yang akan diukur tersebut. Dengan sendirinya sebelum alat dipergunakan di lapangan terlebih dahulu dilakukan pengecekan ke andalan bagian-bagian alat ukur tersebut, seperti kedudukan sumbu-sumbu dan lain sebagainya. Apabila keadaannya sudah baik, maka alat harus dapat berdiri tegak di atas patok dengan tepat.

Artinya, pusat alat yang menyatakan wakil titik sudut di alat telah berada tepat di atas titik yang bersangkutan. Kerja ini dinamakan *centering* alat dan dapat dilakukan dalam dua tahapan, yaitu memakai unting-unting dan ditepatkan secara optis. Pelaksanaannya dapat dilakukan sebagai berikut:

1. Pasang statip sehingga dasar bagian atas statip sebelah atas kira-kira di atas patok poligon dan mendatar.
2. Pasang alat ukur, keraskan dengan sekrup pengencang, statip ditancapkan sehingga tetap diam selama pengukuran.
3. Pasangkan unting-unting pada tengah sekrup pengencang.
4. Bila ujung unting-unting masih menyimpang terhadap paku pada patok poligon, maka dengan mengangkat dan menurunkan kaki statip dan dengan bantuan sekrup statip ditepatkan ujung unting-unting di atas paku.
5. Ketengahkan gelembung nivo kotak.
6. Karena *centering* dengan unting-unting masih kasar, maka unting-unting dikesampingkan kemudian dilakukan "centering optis", yaitu dengan melihat melalui teropong *centering* optis ditepatkan benang silangnya agar tepat berada di tengah-tengah paku/patok.
   a. Mata melihat melalui teropong *centering* optis.
   b. Bila benang silang belum tepat di tengah-tengah paku, sekerup pengencang alat kita kendorkan, maka alat kita geserkan, sehingga benang silang tepat di tengah-tengah paku, kemudian sekerup dikencangkan lagi.
   c. Periksa lagi gelembung nivo kotak, bila berubah ketengahkan lagi.
   d. Periksa pergeseran benang silang, dan pekerjaan diulangi lagi dari butir b.
7. Aturlah nivo tabung dengan menggunakan tiga sekrup penyetel pada alat.

8. Dengan demikian alat theodolit siap untuk melakukan pembacaan sudut horizontal dan vertikal (untuk pengukuran jarak, yang disertai dengan pembacaan benang atas, tengah dan bawah).

7.3. Pengukuran Sudut

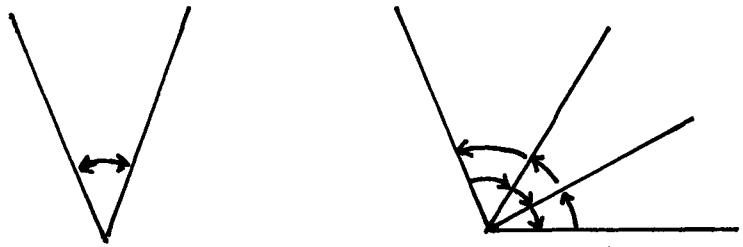
7.3.1.Sudut Antara Sisi

Metoda pengamatan sudut horizontal ini ada dua jenis yaitu cara reiterasi dan repetisi. Untuk selanjutnya dimisalkan pengukuran dilakukan di atas titik 0 ke arah titik-titik A dan B sehingga yang akan di dapat sebagai hasil ukuran adalah sudut AOB.

7.3.1.1. Cara Reiterasi

Pada cara ini sesungguhnya pengukuran dilakukan dengan menyelesaikan pembacaan ke semua target yang tersedia pada satu kedudukan alat (biasa).

Sesudah sampai pada pembacaan arah dari target yang terakhir, maka kedudukan teropong diubah menjadi kedudukan luar biasa dan pengukuran ke arah target lainnya dilakukan mundur sampai ke arah target yang pertama kembali.



a. sudut tunggal b. sudut banyak

Gambar 7.11. Pengukuran cara reiterasi.

Prosedurnya adalah:

1. Memasang dan mendatarkan theodolite pada titik 0.
2. Membidik sasaran A dengan tepat dan mengencangkan sekrup klem horizontal. Menyetel lingkaran graduasi pada angka $0^0 0' 0''$
3. Menempatkan sasaran pada pusat benang silang teropong dengan memutar sekrup halus horizontal.

4. Membaca lingkaran berskala horizontal (catat) dan dalam pengamatan ini teropong berada dalam keadaan BIASA, A_B.
5. Kendorkan sekrup klem dan bidik sasaran B dengan tepat, kencangkan kembali sekrup.
6. Baca lingkaran berskala (B_B).
7. Teropong dibalik dan alat diputar sebesar 180°, lalu dibidikkan ke target B kembali. Lingkaran graduasinya dibaca dan dicatat. Pengamatan ini dilakukan dengan teropong dalam kedudukan LUAR BIASA (B_{LB}).
8. Teropong diputar ke arah A, bidik dan baca lingkaran berskala (A_{LB}).

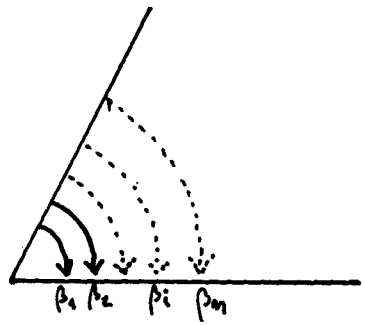
Pengukuran AB, BB, BLB, ALB ini disebut satu seri pengukuran. Untuk menambah seri pengukuran maka penempatan arah pertama pada pembacaan lingkaran berskala pada butir ke-2 dirubah menjadi 90 00' 00". Dari hasil pengamatan di atas sudut yang diambil untuk perhitungan adalah hasil rata-rata dari sudut hasil observasi dalam kedudukan BIASA ditambah dengan sudut hasil observasi dalam kedudukan LUAR BIASA.

$$\frac{\text{sudut s } (0)_B + \text{sudut s } (0)_{LB}}{2} = \text{s } (0) \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad 97.3)$$

Dengan sendirinya apabila target yang tersedia lebih dari satu buah (sudut banyak), maka pembacaan tetap dilakukan dalam kedudukan BIASA sampai semua target terbidik dan kembali dalam kedudukan LUAR BIASA sampai ke target yang pertama.

7.3.1.2. Cara repetisi

Pengukuran sudut dengan repetisi hanya dapat dilakukan dengan theodolite tipe sumbu ganda. Untuk mengukur sudut dalam berbagai arah, cara ini akan memakan waktu yang lama, jadi hanya efektif apabila yang diukur hanya satu sudut saja (sudut tunggal). Umumnya pengukuran dilakukan sebanyak n *kali*.



Gambar 7.12.
Pengukuran cara repetisi.

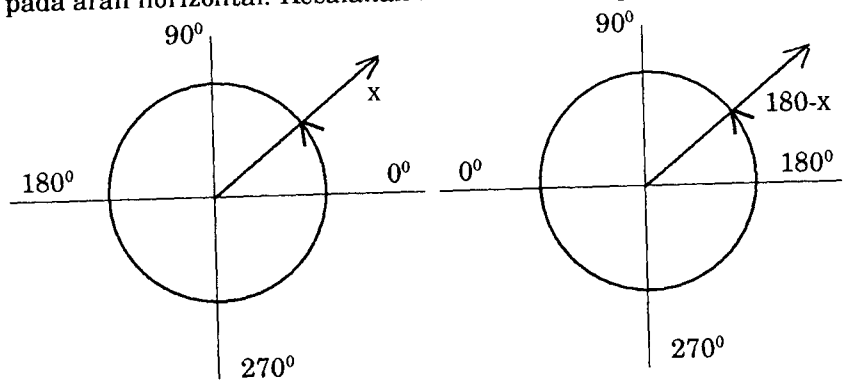
Prosedurnya adalah:

1. Memasang dan mendatarkan theodolite pada titik 0°.
2. Menempatkan bacaan lingkaran berskala pada 00° 00' 00".
3. Mengencangkan klem atas dan membuka klem bawah, dan selanjutnya teropong diarahkan ke titik A (bacaan tetap 0° 00' 00").
4. Mengencangkan plat bawah dan membuka klem atas, dan bidikan diarahkan ke titik B dengan memutar plat atas untuk membaca (n = 1).
5. Mengencangkan klem atas dan mengendorkan klem bawah untuk membidik titik A lagi (jadi bacaan tersebut dibawa/dijadikan bacaan pada bidikan titik A).
6. Dengan plat bawah dikencangkan bidikan teropong ke titik B dilakukan dengan memutar plat atas yang klemnya telah dibuka (bacaan n = 2).
7. Mengulangi pekerjaan 5) dan 6) sebanyak yang diperlukan (n kali) untuk mendapatkan bacaan rata-rata.

7.3.2. Pengukuran Sudut Vertikal

Sebagaimana disinggung di atas, maka sudut vertikal, yaitu sudut antara arah horizontal dan target yang dibidik, diperlukan untuk melakukan konversi jarak miring menjadi jarak mendatar. Namun pada penentuan azimuth matahari juga diperlukan data ketinggian matahari tersebut.

Yang paling berpengaruh dalam ketelitian pengukuran sudut vertikal ini adalah penempatan pembacaan nol lingkaran vertikal pada arah horizontal. Kesalahan ini dikenal sebagai salah indeks.



a. Kedudukan biasa. b. Kedudukan luar biasa.

Gambar 7.13. Sudut vertikal.

Prosedur pengukuran alat dilakukan sebagai berikut:

1. Aturlah alat theodolite di atas titik yang bersangkutan dalam kedudukan BIASA dan letakkan bayangan gelembung nivo kotak (nivo U) dalam kedudukan berimpit.
2. Bidiklah target dengan cermat dan periksalah gelembung nivo U agar tetap pada kedudukan yang sebenarnya.
3. Putar teropong menjadi kedudukan LUAR BIASA dan lakukan pembidikan kembali pada target yang sama.
4. Hasil rata-rata dari kedua pembacaan tersebut akan menghilangkan pengaruh salah indeks.

7.3.3. Pengukuran Azimuth

Azimuth ini berfungsi untuk mendapatkan arah sisi terhadap arah utara sebagaimana yang dicantumkan pada bab ketiga mengenai pendefinisian dan penjelasan notasi.

7.3.3.1. Azimuth Kompas

Dalam pekerjaan pengukuran yang sederhana, maka pengukuran azimuth awal ataupun akhir hanya dilakukan dengan menggunakan alat penunjuk arah utara (kompas).

Untuk maksud tersebut pengukuran dilakukan hanya pada satu sisi poligon saja (dua sisi poligon lebih baik).

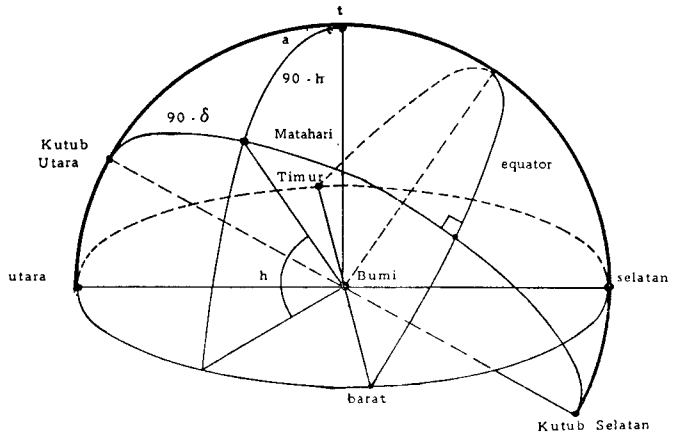
Prosedur pengukuran adalah sebagai berikut:

1. Memasang dan mendatarkan theodolite pada salah satu titik ikat,
2. Tempatkan lingkaran berskala pada $00^0\ 00'\ 00''$, kemudian klem atas dikencangkan (pada titik B).
3. Klem bawah dibuka, arahkan teropong ke arah *utara* dengan bantuan kompas yang telah diletakkan pada sisi alat theodolie, lalu klem bawah dikencangkan dan klem atas dibuka.
4. Bidikan teropong diarahkan ke salah satu titik ikat lain yang satu sisi dengan tempat berdiri alat, misal A dan catat bacaan lingkaran berskalanya. Maka didapatlah azimuth dititik B terhadap titik A atau dengan simbol α_{AB}.

Cara menentukan azimuth di atas, dapat pula dilakukan dengan cara repetisi agar diperoleh hasil yang lebih teliti. Untuk melengkapi pengukuran sudut ini dengan segala kelengkapannya, maka pada bagian ini juga akan diturunkan penentuan azimuth kontrol dengan mengukur tinggi matahari.

7.3.3.2. Azimuth Matahari

Pada prinsipnya pengukuran tinggi matahari (h) yang dilakukan adalah untuk mendapatkan azimuth matahari (a) pada saat (t) pembidikan tinggi matahari tersebut dilakukan. Sedangkan azimuth dari sisi (A) yang diperlukan didapatkan dengan melakukan juga pengukuran sudut mendatar (s) antara matahari dan target yang bersangkutan Jumlah aljabar dari kedua besaran tersebut adalah azimuth sisi yang dicari. Dari hubungan segitiga astronomis dengan titik sudutnya adalah Zenith pengamat (Z), Kutub Utara (Ku) dan matahari (m) pada saat tertentu (t) akan didapatkan hubungan matematis di atas permukaan bola langit sebagai berikut:

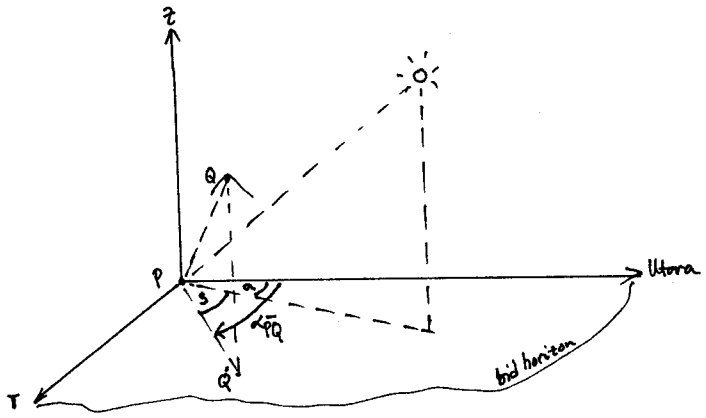


Gambar 7.14. Segitiga Bola di bola langit

Apabila lintang (L) diketahui secara pendekatan (umumnya cukup hasil interpolasi dari peta topografi) dan harga deklinasi (δ) matahari dapat dicari dari tabel matahari, maka dengan mudah akan didapatkan harga azimuth matahari (a).

$$\cos(90-\delta) = \cos(90-h)\cos(90-L) + \sin(90-h)\sin(90-L)\cos a$$
$$\sin\delta = \sin h \sin L + \cos h \cos L \cos a$$

$$a = \arccos\{ (\sin\delta - \sin h \sin L)/(\cos h \cos L) \} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (7.4)$$



Gambar 7.15. Hubungan Azimuth dan sudut mendatar.

Dengan mempunyai harga sudut mendatar antara matahari dan target (s), maka:

$A = a + s$ ..... (7.5)

Prosedur pengukurannya dapat dilakukan dengan berbagai cara, hal ini disebabkan sinar yang melalui teropong tersebut sangat berbahaya apabila mengenai mata si pengamat. Untuk maksud tersebut terdapat 3 pilihan dalam mengatasi masalah tersebut.

a. mengukur tinggi matahari dengan melakukan penadahan bayangan matahari pada selembar kertas.
b. mengukur matahari dengan memakai filter khusus pada lensa objektipnya.
c. mengukur tinggi matahari dengan memakai prisma Roelofs.

Dengan memilih salah satu peralatan dan mengukur waktu pengamatan (t), maka dapat ditentukan harga deklinasi matahari (δ) dari tabel matahari yang selalu dikeluarkan setiap tahun oleh jawatan Topografi Angkatan Darat ataupun Jurusan Geodesi ITB dan dapat dimiliki oleh umum.

Prosedurnya adalah sebagai berikut:

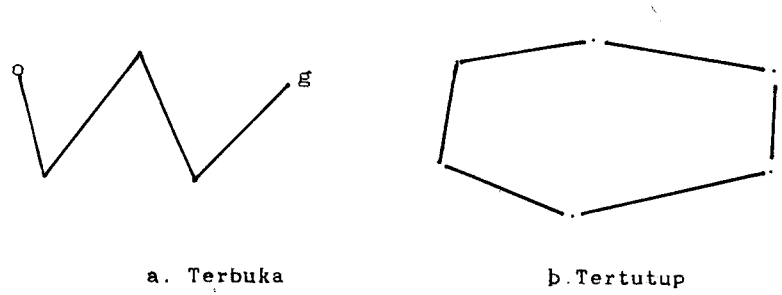
a. Atur kedudukan alat pada titik dari sisi yang akan ditentukan azimuthnya.

b. Tempatkan filter atau prisma Roelofs di muka lensa objektip, apabila penadahan bayangan yang dilakukan, maka lakukan pemfokusan lensa untuk jarak tak terhingga ke arah bukan matahari.
c. Setelah matahari dekat sasaran (benang silang), persiapkan penunjuk tanda waktu yang telah dicocokkan dengan tanda waktu yang benar (WIB atau GMT).
d. Tepat matahari memasuki benang silang, catat
   a. waktu pada saat di pusat lensa,
   b. tinggi matahari,
   c. arah mendatar matahari, dan
   d. arah mendatar ke target di ujung sisi lainnya.
e. Dari tabel deklinasi matahari untuk tahun yang bersangkutan dapat ditentukan deklinasi matahari (δ) pada saat terbidik (pencarian dilakukan dengan argumen waktu).
f. Carilah nilai lintang (L) dari peta topografi dengan cara melakukan interpolasi
g. Hitung besarnya azimuth matahari dengan rumus 7.4.
h. Hitung besarnya sudut mendatar antara matahari dan target.
i. Maka azimuth sisi didapat dengan memakai rumus 7.5.

7.3.4. Pengukuran Poligon

Pengukuran metoda poligon ini, sesungguhnya salah satu cara penyajian sebaran titik ikat di daerah pengukuran secara berurutan. Selain melakukan pengukuran sudut juga dilakukan pengukuran jarak. Terdapat dua jenis teknik pengukuran, yaitu:

1. Poligon terbuka, dan
2. Poligon tertutup



Gambar 7.16. Kerangka Poligon

7.3.4.1. Poligon terbuka

Dengan menyadari akan tidak mungkin ditemukan harga ukur yang sempurna, maka pengukuran sudut ini pun perlu dikontrol agar didapatkan harga yang terbaik. Untuk maksud tersebut, terdapat dua pilihan titik ikat ataupun sisi kontrol, yaitu:

a. Diketahui dua pasang titik ikat, masing-masing pada awal dan akhir dari jalur pengukuran.
b. Diketahui sepasang titik ikat dan sepasang azimuth masing-masing pasangan pada awal dan akhir jalur pengukuran.

Apabila pilihan telah ditentukan, maka data yang masih belum tersedia dapat ditambahkan pada pengukuran, sedangkan data yang selalu diukur pada metoda poligon ini adalah sisi dan sudut sepanjang jalur pengukuran yang bersangkutan.

7.3.4.2. Poligon tertutup

Pada bentuk geometri poligon ini sesungguhnya sama saja dengan poligon terbuka, hanya sisi akhirnya juga merupakan sisi awal dari poligon tersebut.

7.3.4.3. Hitungan Poligon

Sebelum dilakukan hitungan poligon yang berarti juga hitungan koordinat titik-titik poligon, maka terlebih dahulu hasil ukuran perlu diperiksa kebenarannya. Sehingga perlu dilakukan tahapan hitungan sebagai berikut:

a. Hitungan pendahuluan, yaitu data mentah hasil pengukuran diolah untuk mendapatkan data bersih, baik bagi data kontrol maupun data ukuran sisi dan sudut.

    1. Untuk jarak diambil harga rata-rata dari hasil pengukuran dari masing-masing sisi.
    2. Untuk sudut diambil harga rata-rata dari hasil pengukuran cara repetisi atau reiterasi di atas.
    3. Demikian pula jika dilakukan pengukuran kontrol, maka perlu didapatkan data bersihnya.
b. Dilakukan hitungan koreksi sudut dan jarak sesuai dengan hasil kontrol yang dilakukan oleh data kontrol di atas.
c. Dilakukan hitungan koordinat titik-titik poligon yang bersangkutan dengan menggunakan rumus-rumus I.1 s/d I.4.

7.3.4.4. Hitungan pendahuluan

Tujuan dari hitungan pendahuluan ini adalah untuk dapat menghasilkan data bersih sebelum dilakukan pengelolaan data selanjutnya. Namun hitungan ini juga hanya mungkin dilakukan apabila data-data mentah tersebut diukur lebih banyak dari yang dibutuhkan (misalnya: ukuran seri).

Dengan demikian setiap besaran diwakili oleh satu nilai yang terbaik atau yang dianggap terbaik, misalnya harga rata-rata dari pengukuran seri tersebut. Hal ini berlaku baik untuk jarak maupun sisi yang terukur.

7.3.4.5. Hitungan koreksi

Dari kedua data utama hasil pengukuran poligon ini (jarak dan sudut), jelas diduga banyak mengidap kesalahan. Jenis kesalahan ini adalah tak tentu (random), karena semua kesalahan sistematis telah dihilangkan dari pengukurannya. Besarnya kesalahan pengukuran sudut dapat diketahui dengan melakukan penalaran seperti yang diuraikan di bawah ini.

A. Koreksi Sudut

Dari gambar terlihat, bahwa sudut jurusan sebelumnya mempunyai hubungan erat dengan azimuth sebelum dan selanjutnya, sudut yang diukur dan sudut lingkaran penuh.

Sebagai contoh pada titik no. i didapat hubungan

$\alpha (i,i+i) = \alpha(i,i-1) + S_1 - 360^0$

$\alpha (i,i-1) = \alpha (i-1, i-2) + S_i\text{-}1 - 360^0$

Sehingga secara umum dapat ditulis sebagai:

$\alpha_n = \alpha_1 + \Sigma\ S_i - (n\text{-}2).\ 180^0$

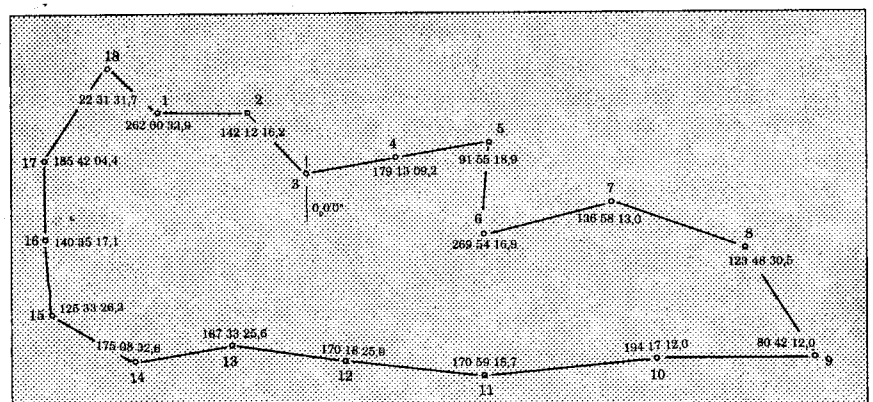
Secara singkat rumus koreksi sudut di atas dapat ditulis sebagai:

$F\alpha = \Sigma\ S_i - (n\text{-}2).\ 180^0$ ..... (7.6)

Dalam pemakaian rumus koreksi sudut itu berlaku ketentuan, bahwa:

Apabila nilai ruas kiri lebih besar daripada (n-2). 180^0, maka koreksi tersebut akan bersifat mengurangi besarnya hasil pengukuran

Selanjutnya untuk setiap sudut yang jumlahnya sebanyak n buah akan mendapat koreksi sebesar:



No. Titik	SUDUT ° ' "	AZIMUT ° ' "	JARAK (meter)	d sin α	d cos α	x	y
						474,224	707,426
1	262 02 33,9	157 28 28,9	64,770	+ 24,813	- 59,829		
				+2	-1		
2	142 12 16,2	75 25 51,4	67,604	+ 65,430	+ 17,005	539,656	724,430
				+2	-1		
3	220 33 34,1	113 13 38,2	69,232	+ 63,621	- 27,304	603,279	697,125
				+2	-1		
4	179 13 09,2	72 40 04,1	61,880	+ 59,070	+ 18,435	662,351	715,559
				+2	-1		
5	91 55 18,9	73 26 54,9	32,666	+ 31,312	+ 9,306	693,666	724,864
				+3	-1		
6	269 54 16,9	161 31 36,0	82,549	+ 26,157	- 78,295	719,825	646,569
				+2	0		
7	136 58 13,0	71 37 19,1	39,329	+ 37,323	+ 12,400	757,150	658,968
				+2	-1		
8	123 48 30,5	114 39 06,1	179,328	+ 162,984	- 74,798	920,136	584,170
				+2	0		
9	80 42 56,0	170 50 35,6	65,817	+ 10,474	- 64,978	930,612	519,191
				+2	-1		
10	194 17 12,0	270 07 39,6	116,030	- 116,030	+ 0,259	814,584	519,450
				+2	0		
11	170 59 15,7	255 50 27,6	76,000	- 73, 691	- 18,591	740,895	500,858
				+2	-1		
12	170 18 25,9	264 51 11,9	38,880	- 38,723	- 3,488	702,175	497,369
				+3	-1		
13	187 33,25,6	274 32 46,0	76,509	- 76,268	+ 6,064	625,909	503,432
				+2	-1		
14	175 08 32,6	266 59 20,4	88,407	- 88,285	- 4,644	537,626	498,788
				+2	0		
15	125 33 26,3	271 50 47,8	37,649	- 37,629	+ 1,213	- 500,000	+500,000
				+3	-1		
16	140 35 17,1	326 17 21,5	101,707	- 56,447	+ 84,605	443,555	584,605
				+2	0		
17	185 42 04,4	5 42 04,4	58,911	+ 5,852	+ 58,620	449,409	643,224
				+2	-1		
18	22 31 31,7	00 00 00,0	124,033	00,000	+ 124,033	449,409	767,256
		157 28 28,3	64,770				

Gambar 7.17. Formulir hitungan poligon.

$$Fs = F\alpha/n \quad \text{.....} \quad (7.7)$$

Umumnya besar koreksi tersebut akan mempunyai bentuk pecahan dan selalu dibulatkan ke bawah (Fk). Jumlah sisi pecahan terhadap harga pembulatan tersebut adalah:

$$k = n.\ (Fs - Fk) \quad \text{.....} \quad (7.8)$$

Nilai k tersebut umumnya diberikan kepada sisi poligon yang terpendek. Hal ini disebabkan pada pengukuran sudut untuk sisi yang cukup pendek akan menyulitkan pengukuran dalam menempatkan benang silang teropongnya.

B. Koreksi Koordinat

Terhadap koordinat hasil pengukuran tersebut masih memberikan bagian kesalahan. Kesalahan ini dapat diuraikan dalam unsur absis dan ordinat.

Selanjutnya dari gambar 7-13 terlihat, bahwa untuk masing-masing penggal jarak azimuth didapat hubungan:

$$\delta x_i = d_i.\ \sin \alpha_{(i+1,i)}$$
$$\delta y_i = d_i\ .\ \cos \alpha_{(i+1,i)} \quad \text{.....} \quad (7.9)$$

Dengan demikian untuk semua harga i : i = 1,2,..... n akan didapatkan, bahwa jumlah absis dan ordinatnya tidak lain dari absis dan ordinat dari titik akhir terhadap titik awal, atau dapat ditulis sebagai,

$$kx = \Sigma\ d_i\ .\ \sin \alpha_{(i+1,i)} = (X_{akhir} - X_{awal})$$
$$ky = \Sigma\ d_i.\ \cos \alpha_{(i+1,i)} = (X_{akhir} - X_{awal}) \quad \text{.....} \quad (7.10)$$

Pemberian koreksi terhadap masing-masing koordinat dilakukan secara linier yaitu:

$$kx(i) \quad \frac{d_i}{\Sigma\ d_i} \quad k_x$$
$$ky(i) \quad \frac{d_i}{\Sigma\ d_i} \quad k_y \quad \text{.....} \quad (7.11)$$

7.3.4.6. Aturan Bowditch

Salah seorang tokoh geodesi, Bowditch menurunkan suatu cara untuk pengaturan (perataan) dari salah penutup pada suatu jaring poligon. Dalam pengaturan ini didasarkan pada sebuah asumsi, yaitu kesalahan yang mungkin pada jarak dan sudut jurusan dari suatu sisi poligon menyebabkan penyimpangan yang sama pada jarak dan sudut jurusan pada titik akhir. Dengan demikian, maka:

1. Kesalahan dalam jarak adalah sebanding dengan akar pangkat dua dari jarak yang bersangkutan.
2. Kesalahan dalam sudut jurusan berbanding terbalik dengan akar pangkat dua dari jarak.
3. Koreksi untuk terhadap x atau y adalah sama dengan yang diberikan oleh rumus di atas.

Contoh 7.1.:

Sisi	Jarak	:	X	:	Y
AB	210,42	+	107,69	-	180,77
BC	74,76	+	72,04	+	19,97
CD	92,88	+	30,04	+	87,89
DE	327,84	+	327,63	+	11,66
EF	383,55	-	299,12	+	240,07
FA	296,55	-	236,79	-	178,53

Dari data di atas dapat dihitung:
Salah penutup absis = + 1,49 meter
Salah penutup ordinat = + 0,29 meter

Jumlah jarak = 1 386,00 meter
Koreksi ordinat = - 0,29 x sisi/1386, dan
Koreksi absis = + 1,49 x sisi/1386

Dengan demikian koreksi yang diberikan adalah sebagai berikut:

Sisi	Absis hitung	Koreksi	Absis koreksi	Ordinat hitung	Koreksi	Ordinat koreksi
AB	+ 107,69	- 0,23	+ 107,46	- 180,77	- 0,04	- 180,81
BC	+ 72,04	- 0,08	+ 71,96	+ 19,97	- 0,02	+ 19,95
CD	+ 30,04	- 0,10	+ 29,94	+ 87,89	- 0,02	+ 87,87
DE	+ 327,63	- 0,35	+ 327,28	+ 11,66	- 0,07	+ 11,59
EF	- 299,12	- 0,41	- 299,53	+ 240,07	- 0,08	+ 239,99
FA	- 236,79	- 0,32	- 237,11	- 178,53	- 0,06	- 178,59
Kontrol		- 0,29	0,0		- 1,49	0,0

7.3.5. Pengikatan Titik

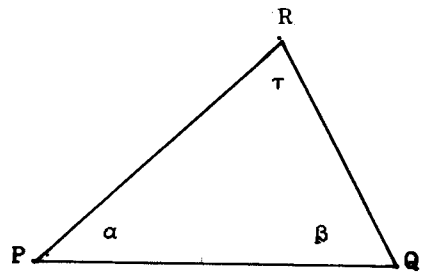
Terdapat dua jenis pengukuran cara pengikatan titik yang umum dipakai sebagai cara untuk memperbanyak titik (koordinat) dilapangan, yaitu cara mengikat kemuka dan kebelakang.

7.3.5.1. Pengukuran

Perbedaan yang menyolok antara kedua jenis pengukuran ini dapat dilihat dari tempat dilakukannya pengukuran. Apabila pengukur berada di atas titik yang diketahui, yaitu untuk menentukan koordinat titik lainnya, maka dikatakan pengukuran tersebut adalah ikatan ke muka. Sebaliknya apabila pengukur berada di atas titik yang akan ditentukan koordinatnya dan melakukan pengukuran ke titik yang diketahui koordinatnya, maka dinamakan pengukuran mengikat ke belakang.

A. Pengikatan ke muka

Prinsipnya sangat sederhana sekali, yaitu pengukuran sudut dilakukan di atas paling sedikit dua buah titik yang diketahui koordinatnya untuk menentukan koordinat titik lainnya.



Gambar 7.18. Pengukuran ke muka

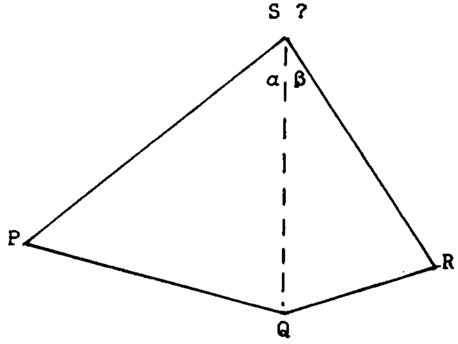
Prosedur pengukurannya dapat dilakukan sebagai berikut:

1. Tempatkan alat ukur theodolite di atas titik yang diketahui koordinatnya dan lakukan pengaturan alat secermat mungkin.
2. Lakukan pengukuran sudut ke arah kedua target, masing-masing titik yang diketahui dan tidak diketahui koordinatnya. Pemilihan metoda pengukuran dapat dilakukan sesuai dengan yang dibutuhkan.
3. Pindahkan alat ukur ke titik yang koordinatnya diketahui. Lakukan pengukuran ke arah kedua target tersebut.

B. Pengikatan ke belakang

Mirip dengan pengukuran ikatan ke muka, maka pada pengukuran ikatan ke belakang ini diperlukan paling tidak tiga buah titik ikat

yang diketahui koordinatnya. Pelaksanaan ukurnya dilakukan dengan menempatkan alat ukur theodolite di atas titik yang belum diketahui koordinatnya. Pengukuran sudut dilakukan terhadap target yang terdiri dari titik ikat di atas.



Gambar 7.19.
Pengukuran ke belakang.

7.3.5.2. Hitungan Pengikatan

A. Cara ke Muka.

Hitungan yang dilakukan di sini cukup sederhana. Karena dari hubungan matematis antara ketiga titik tersebut dapat diturunkan empat buah persamaan dengan empat buah bilangan anu.

$$X_R = X_P + d_{RP} \sin \alpha_{RP}$$
$$Y_R = Y_P + d_{RP} \cos \alpha_{RP}$$
$$\qquad \qquad (7.12)$$
$$X_R = X_Q + d_{QR} \sin \alpha_{QR}$$
$$Y_P = Y_Q + d_{QR} \cos \alpha_{QR}$$

Harga dari azimuth sisi PR dan QR segera didapat dari selisih azimuth PQ terhadap sudut α dan jumlah azimuth QP dengan sudut ß. Sedangkan azimuth PQ dan QP didapat dengan menggunakan rumus (1.4) dan data koordinat titik P dan Q. Dari keempat persamaan di atas jelas terlihat, bahwa parameter yang tidak diketahui adalah Xr, Yr, dpr dan dqr. Dengan menggunakan teknik pemecahan persamaan tersamar dan komputer kecil, maka keempat parameter tersebut dapat diketahui dengan mudah. Namun pada pelaksanaannya hanya didapatkan satu harga untuk masing-masing anu. Apabila digunakan aturan sinus koordinat dapat ditemukan dua pasang koordinat titik P, sehingga hasil rata-ratanya akan memberikan nilai yang lebih baik. Algoritma metoda ini adalah sebagai berikut:

1. Ambil ; α sebagai sudut dalam di titik P
   ß sebagai sudut dalam di titik Q
   γ sebagai sudut dalam di titik R,
   maka
   $\delta = \alpha_{PQ} - \alpha_{PR}$
   $ß = \alpha_{QP} - \alpha_{QR}$, dan
   $\gamma = (180^0 - \alpha - \beta)$
2. $\delta X_{PQ} = X_Q - X_P$
   $\delta Y_{PQ} = Y_Q - Y_P$
   maka
   Sudut jurusan PQ = α_{PQ} = arc tg $(\delta x_{PQ}/\delta y_{PQ})$
3. Sudut jurusan PR = $\alpha_{PR} = \alpha_{PQ} - \alpha$
   Sudut jurusan QR = $\alpha_{QR} = \alpha_{PQ} + ß$
4. Jarak PQ = $d_{PQ} = \delta X_{PQ}/\sin \alpha_{PQ}$, dan
   $= \delta y_{PQ}/\cos \alpha_{PQ}$
5. Ambil : $m = d_{PQ}/\sin \gamma$
6. $d_{QR} = m \sin \alpha$, dan
   d_{QR} m sin ß
7. Koordinat titik R dapat dihitung baik dari P maupun dari Q:

$$X_R = X_P + d_{PR} \cdot \sin \alpha_{PR} = X_Q + d_{QR} \cdot \sin \alpha_{QR}$$

$$Y_R = Y_P + d_{PR} \cdot \cos \alpha_{PR} = Y_Q + d_{QR} \cdot \cos \alpha_{QR}$$

1	2	3	4	5	6
X_P		Y_P		X_R	
X_Q		Y_Q		Y_R	
δX_{PQ}		δY_{PQ}		α_{PQ}	
				d_{PQ}	
				m	
d_{QR}		d_{PR}			

Gambar 7.20. Formulir hitungan cara kemuka.

B. Hitungan Cara Cassini

Metoda perhitungan cara ke belakang ini dibuat oleh Cassini dengan mengacu kepada pemakaian alat hitung sederhana. Konsep dasarnya

adalah membentuk dua buah lingkaran melalui sepasang titik yang diketahui koordinatnya dan titik ketiga adalah titik yang belum diketahui koordinatnya. Dari gambar 7.21 terlihat bahwa lingkaran tersebut masing-masing melalui titik-titik A, B dan P dan lingkaran lainnya melalui titik-titik B, C dan P. P adalah titik yang akan ditentukan koordinatnya serta tempat berdirinya alat ukur sudut. Pada titik tersebut diukur sudut APB atau α dan sudut BPC atau β.

Dari titik-titik A dan C masing-masing ditarik garis tegak lurus sampai memotong lingkaran di E dan D berturut-turut. Sehingga dari segitiga siku-siku ABE didapat hubungan:

1. Sudut Jurusan AE $= \alpha_{AE}$
   $= \alpha_{AB} + 90^0$
2. Jarak AE $= d_{AE} = d_{AB} \cdot \text{ctg}\ \alpha$, maka
   $\delta x_{AE} = d_{AE} \cdot \sin \alpha_{AE}$
   $= d_{AB} \cdot \text{ctg}\ \alpha \cdot \sin (\alpha_{AB} + 90^0)$
   $= d_{AB} \cdot \cos \alpha_{AB} \cdot \text{ctg}\ \alpha$
   $= \delta y_{AB} \cdot \text{ctg}\ \alpha$

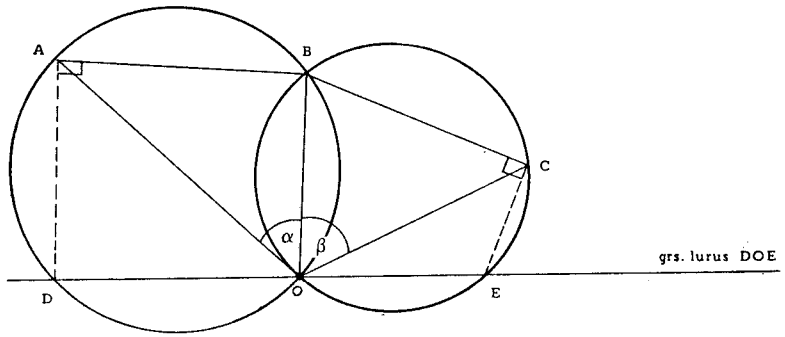
   $\delta y_{AE} = d_{AE} \cdot \cos \alpha_{AE}$
   $= d_{AB} \cdot \text{ctg}\ \alpha \cdot \cos (\alpha_{AB} + 90^0)$
   $= d_{AB} .(- \sin \alpha_{AB} \cdot \text{ctg}\ \alpha$
   $= \alpha x_{AB} \cdot \text{ctg}\ \alpha$
3. Dengan cara yang sama didapat dari segitiga siku-siku BCD hubungan :

   $\delta x_{CD} = \delta y_{CB} \cdot \text{ctg}\ \beta$; $\delta y_{CD} = \delta x_{CB} \cdot \text{ctg}\ \beta$

4. Ambil $n = \delta x_{ED}/\delta y_{ED} = \text{tg}\ \alpha_{ED}$ dan
   $1/n = \text{ctg}\ \alpha_{ED}$, dan
   $N = n + 1/n$, maka
5. $Y_E - Y_B = -(Y_B - Y_P) - (Y_P - Y_E)$
   $= (X_B - Y_P) \cdot \text{tg}\ \alpha_{ED} - (X_P - X_E) \cdot \ \cdot \text{ctg}\ \alpha_{ED}$
   $= (X_B - Y_P) \cdot n - (X_P + X_E) \cdot 1/n$

   $X_P = (n \cdot X_B + 1/n \cdot X_E + Y_B - Y_E)/N$

6. Dengan cara yang sama didapat pula:
   $Y_P = (n \cdot Y_E + 1/n \cdot Y_B + X_B - X_E)/N$



Gambar 7.21. Pengikatan cara Cassini.

Contoh 7.2.: Hitungan Cara Cassini.

Diketahui : $X_A = 596.844$; $X_B = 539,593$; $Xc = 603,240$
$Y_A = 783,606$; $Y_B = 724,466$; $Yc = 697,144$
Diukur : Sudut $\alpha = 96^0\ 57'\ 39,\ "5$
Sudut $\beta = 105^0\ 48'\ 09,\ "5$
Hitung : Koordinat titik P dengan cara Cassini
Jawab : $X_E = X_A + \delta Y_{AB} \text{ctg}\ \alpha = 514,065$
$Y_E = Y_A - \delta X_{AB} \text{ctg}\ \alpha = 787,604$
$X_D = Xc - \delta Y_{CB} \text{ctg}\ \beta = 610,973$
$Y_D = Yc + \delta X_{CB} \text{ctg}\ \beta = 715,157$
$\delta X_{ED} + 96,908$ dan $\delta Y_{ED} = - 72,447$
$\text{tg}\ \alpha_{ED} = n = - 1,337639928$
$1/n = - 0,747585339$
$N = n + 1/n = - 2,085225267$

C. Hitungan Cara Collins

Metoda perhitungan cara ke belakang yang dibuat oleh Collins juga dikenal dengan nama metoda logaritma. Maksudnya sebelum alat hitung berkembang dengan baik seperti masa kini, maka perhitungan umumnya dilakukan dengan bantuan daftar logaritma. Dari gambar terlihat bahwa titik yang diketahui koordinatnya adalah titik A, B dan C. Sedangkan sudut yang diukur adalah di titik yang akan ditentukan koordinatnya, yaitu titik P dan dinamakan sebagai

titik ALPHA (α) dan BETA (β). Melalui titik A, B dan P dibuatnya lingkaran luarnya. Dan dari sini akan didapatkan titik bantu D, yaitu perpotongan garis PC dengan lingkaran yang juga dikenal dengan nama titik Collins (D).

n.XB	= - 721,781	;	n. Y_E	= - 1053,531	
1/n. X_E	= - 384,307	;	1/n. Y_B	= - 541,600	
Y_B	= 724,466	;	X_B	= - 539,593	
Y_E	= - 787,604	;	X_E	= - 514,065	
	-1169,226	+		- 1569,603	+
	:			:	
N	= - 2,085225267		N	= 2,085225267	
X_P	= 560,719		Y_P	= 752,726	

Algoritma pemecahan masalahnya adalah sebagai berikut:

I. Menentukan kordinat titik bantu D.

a. Dihitung sudut jurusan AB, yaitu:
$\alpha_{AB} = \text{arc tan } (\delta X_{AB}/\delta y_{AB})$
b. Dihitung sudut jurusan ke arah titik bantu D:
$\alpha_{AB} + ß = \delta_{AD} = \alpha_{AD}$
$\alpha_{AB} + \alpha + ß = \delta_{BD} = \alpha_{BD}$
c. Menghitung jarak AB:
$d_{AB} = (\delta x_{AB})/\sin \alpha ab = (\delta y_{AB})/ \cos \alpha_{AB}$
d. Ambil : $m = d_{AB}/\sin \alpha$
e. Maka : $m \cdot \sin ß = d_{BD}$
$\delta x_{BD} = d_{BD} \cdot \sin \alpha_{BD}$
$\delta y_{BD} = d_{BD} \cdot \cos \alpha_{BD}$
f. Sehingga : $d_{AD} = m \cdot \sin (\alpha + ß)$
$\delta x_{AD} = d_{AD} \cdot \sin \alpha_{AD}$
$\delta y_{AD} = d_{AD} \cdot \cos \alpha_{AD}$
g. Koordinat titik D dihitung dari titik-titik A dan D:
$X_D = X_B + \delta x_{BD}$; $X_D = X_A + \delta X_{AD}$; X_D = Rata-rata X_D
$Y_D = Y_B + \delta y_{DB}$; $Y_D = Y_A + \delta y_{AD}$; Y_D = Rata-rata Y_D

II. Menghitung koordinat titik P

a. Hitung : sudut jurusan DC = α_{DC}
sudut jurusan DB = α_{DB}
sudut jurusan DA = α_{DA}

b. Maka : sudut DBC = $\gamma = \alpha_{CD} - \alpha_{DB}$
sudut ADC = $\delta = \alpha_{DC} - \alpha_{DA}$

c Sehingga : sudut jurusan AP = $\alpha_{AP} = \alpha_{AB} + \gamma$
sudut jurusan BP = $\alpha_{BP} = \alpha_{AB} + \delta$

d. Hitung : $d_{BP} = m \cdot \sin \gamma$,
$d_{AP} = m \cdot \sin (1800 - \delta)$
$= m \cdot \sin \delta$

e. Maka : $\delta x_{BP} = d_{BP} \cdot \sin \alpha_{BP}$
$\delta y_{BP} = d_{BP} \cdot \cos \alpha_{BP}$
$\delta x_{AP} = d_{AP} \cdot \sin \alpha_{AP}$
$\delta y_{AP} = d_{AP} \cdot \cos \alpha_{AP}$

f. Sehingga koordinat titik P dapat dihitung dari titik A dan B
$X_P = X_B + \delta X_{BP}$ dan $X_P = X_A + \delta X_{AP}$
$Y_P = Y_B + \delta y_{BP}$ dan $Y_P = Y_A + \delta y_{AP}$

Contoh 7.3 : Hitungan cara Collins

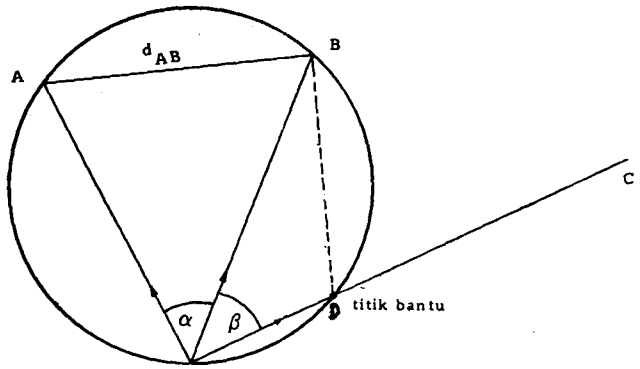
Diketahui : Koordinat titik A (12,245 ; 13,451)
Koordinat titik B (87,251 ; 25,452)
Koordinat titik C (122,879 ; 95,556)

Diukur : Sudut α = 44° 04' 07"
Sudut ß = 52° 10' 22"

Dihitung : Koordinat titik P

Sudut jurusan AB = α_{AB}=arc tg $(\delta x_{AB}/\delta y_{AB})$ = 80° 54' 34,92"
Sudut Jurusan AD = $\alpha_{AB} + ß$ = 133° 49' 30, 00"
Sudut Jurusan BD = $\alpha_{AB} + \alpha + ß$ = 177° 09' 03, 96"

Jarak AB = $\sqrt{(\delta x_{AB}^2 + \delta y_{AB}^2)}$ = 75,96001 meter
M = $d_{AB}/\sin (\alpha)$ = 109,2134 meter
Jarak AD = M. sin (α + ß) = 108,566 meter
Jarak BD = M . sin (ß) = 86,26368 meter



Gambar 7.22. Pengikatan cara ke belakang Collins.

$X_{p1} = X_a + d_{AD} . \sin(\alpha_{AD}) = +\ 91{,}53581$
$X_{p2} = X_b + d_{BD} . \sin(\alpha_{BD}) = +\ 91{,}53581 : X_D = +\ 91{,}53581$
$Y_{p1} = Y_a + d_{AD} . \cos(\alpha_{AD}) = -\ 60{,}70508$
$Y_{p2} = Y_b + d_{BD} . \cos(\alpha_{BD}) = -\ 60{,}70508 : Y_D = -\ 60{,}70508$

Sudut jurusan DC = αdc = arc tg (δxdc/δydc) = 11° 20' 27,78"
Sudut τ = $\alpha_{DC} - \alpha_{DB}$ = 14° 11' 23,82"
Sudut = $\alpha_{DC} - \alpha_{DA}$ = 58° 15' 30,85"

Sudut jurusan AP = $\alpha_{AP} = \alpha_{AB} + \tau$ = 95° 59" 47,40"
Sudut jurusan BP = $\alpha_{BP} = \alpha_{AB} + \delta$ = 139° 10' 05,88"
Jarak AP = M. sin (180 - δ) = 92,87842 meter
Jarak BP = M. sin (τ) = 26,77228 meter

$X_{p1} = X_A + d_{AP} . \sin(\alpha_{AP}) = 104{,}7558$
$X_{p2} = X_B + d_{BP} . \sin(\alpha_{BP}) = 104{,}7558 : X_P = +\ 104{,}7558$
$Y_{p1} = X_A + d_{AP} . \cos(\alpha_{AP}) = 5{,}1952$
$Y_{p2} = X_B + d_{BP} . \cos(\alpha_{BP}) = 5{,}1952 : y_P = +\ 5{,}1952$

7.4. Kesalahan Pengukuran

Sebagaimana lazimnya dan telah diuraikan dalam bagian-bagian terdahulu, maka kesalahan yang terjadi pada pengukuran selalu

terjadi sebagai akibat dari manusia yang melakukan pengukuran, alat ukur serta pengaruh alam yang selalu berubah selama pengukuran tersebut berlangsung. Di bawah ini akan diuraikan beberapa kesalahan yang mempengaruhi hasil ukuran dari ketiga sumber di atas.

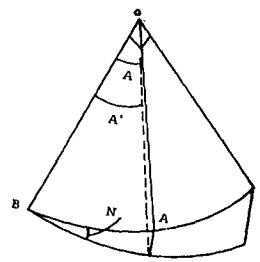
7.4.1. Kesalahan Alat

Kesalahan alat yang paling berpengaruh adalah kesalahan sebagai akibat lingkaran skala yang terungkit, salah priodik dan salah pusat lingkaran. Ketiga kesalahan ini dapat di eliminasi dari hasil pengukuran dengan memakai teknik pengukuran yang tertentu. (Allan et al, 1975)

Mengenai kesalahan pengaturan alat telah dibahas dalam bagian pengukuran di atas.

7.4.1.1. Kesalahan lingkaran terungkit

Kesalahan ini umumnya sangat kecil dan hampir jarang terjadi. Misalkan lingkaran skala potongan yang benar adalah OAB dan CBO adalah potongan lingkaran yang terungkit. Jika sudut yang diukur oleh lingkaran tersebut (CBO) adalah A' dan kesalahannya terhadap hasil sebenarnya A adalah dA, dan sudut apitnya adalah N, (Allan, 1975).



Gambar 7.23. Lingkaran terungkit

Kesalahan tersebut dinyatakan dalam dA = A' - A,

karena : tg A/tg A' = AB/CB = sec N
maka : tg A' = tg A . cos N
juga : tg (A - A') = (tg A - tg A') / (1 - tg A. tg A')
jadi : tg dA = (tg A (1-cos N)/ (1 + tg2 A . cos N)
karena : harga N cukup kecil, maka cos N = 1,
dan : harga dA juga kecil, maka tg dA = dA
Sehingga : dA = (sin A.N)/2 ..... (7.13)

Umumnya terungkitnya lingkaran ini cukup kecil, sehingga apabila diandaikan besarnya adalah 1', dan untuk hasil ukuran

sebesar 45^0, maka kesalahan yang diakibatkannya adalah sebesar,
dA = (3600/4x206265) = 0. ‘ ‘ 004.

7.4.1.2. Kesalahan graduasi lingkaran

Kesalahan pembagian skala lingkaran ini dapat dibagi dalam dua jenis, yaitu:

a. Salah periodik, yang muncul secara periodik pada daerah lingkaran tertentu.
b. Salah tak tentu *(random)* yang muncul secara tidak beraturan.

Untuk menghilangkan kesalahan ini selalu dilakukan pengukuran berulang (seri) dengan melakukan pembacaan arah yang bersangkutan pada beberapa bagian lingkaran. Umumnya setengah lingkaran dibagi dalam beberapa bagian dan arah tersebut dibaca dan setiap bagian yang telah ditentukan tersebut.

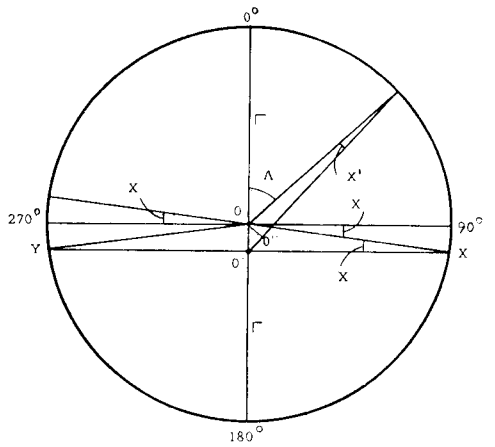
Pada alat ukur theodolite modern, yang terdapat sekarang, kesalahan pembagian lingkaran skala hampir jarang ditemui, hal ini berkaitan dengan kemajuan teknologi fotografi yang diterapkan pada pembuatan lingkaran berskala tersebut. Lingkaran berskala pada umumnya dibuat dari pelat gelas dan suatu *master* lingkaran berskala dalam ukuran besar, diperkecil dengan cara pemotretan dan diproses selanjutnya ke atas pelat gelas tersebut. Walaupun demikian kesalahan ini masih sering dijumpai pada alat-alat yang lama dan masih tetap dipergunakan di lapangan pengukuran.

7.4.1.3. Salah pusat lingkaran

Kesalahan ini berasal dari kurang cermatnya pabrik dalam menentukan pusat lingkaran berskala. Sehingga misalnya, pada lingkaran horizontal sumbu putar tidak melalui pusat lingkaran berskala tersebut. Dengan perkataan lain terjadi kondisi eksentrisitas dari pembacaan sudut yang bersangkutan.

Dari gambar terlihat, bahwa apabila arah bidikan terletak pada garis yang melalui kedua pusat tersebut, maka tidak terdapat kesalahan pembacaan sudut. Apabila diputar 90^0, maka kesalahannya menjadi sebesar x, dan semakin membesar apabila berada pada kedudukan 270^0, yaitu sebesar 2x. Besarnya harga x mudah ditemukan dengan menggerakkan teropong pada kedua kedudukan di atas, yaitu 0^0, 90^0 dan 270^0. Dengan demikian untuk sembarang arah A, maka kesalahan ini adalah:

$$x' = x \cdot \sin A \qquad (7.14)$$



Gambar 7.24. Eksentrisitas pusat lingkaran

7.4.2. Kesalahan Pengukur

Sebagaimana yang disinggung dalam bagian pertama, maka kesalahan pada pengukur juga dapat berbentuk *blunder,* salah sistematik, dan salah kebetulan *(accidental error).* Kesalahan *blunder* dapat segera diketahui dengan melakukan pengukuran seri, sehingga sesuai dengan ketentuan dapat segera dicoret dari data ukuran. Kesalahan sistematis umumnya ditera dan direduksi dari hasil ukuran, misalnya salah perorangan *(personal error)* dapat ditera apabila dibandingkan dengan hasil ukuran orde pertama. Sehingga yang tinggal adalah salah kebetulan yang tetap berada dalam hasil ukuran dan hitungan. Kesalahan inilah yang tinggal dan membuat hasil ukuran menjadi acak *(random).* Namun dengan teknik perataan kwadrat terkecil *(adjustment by least square)* dari hasil-hasil ukuran tersebut dapat ditentukan satu hasil ukuran yang paling cocok beserta ketelitian yang diidapnya.

7.4.3. Kesalahan Alam

Sama halnya kesalahan *blunder,* sistematik dan kebetulan, juga dapat muncul dari alam. Dengan teknik yang sama kesalahan tersebut dibuang dan direduksi dari hasil ukuran, tinggal kesalahan kebetulan yang terus mengikut dalam hasil ukuran. Salah kebetulan yang tak dapat dihindarkan misalnya getaran bumi yang kontinyu dan lain sebagainya.

7.5. Rangkuman 7

Dalam bahasan di atas telah ditunjukkan kaitan sudut dan jarak yang akan membentuk kerangka dasar horizontal yang diperlukan untuk mengikat titik detail. Demikian pula diperlukan koordinat titik awal sebagai basis perhitungan, lengkap dengan sudut jurusan dari sisi awal kerangka dasar horizontal tersebut.

Peralatan yang dipakai untuk pengukuran sudut tersebut adalah theodolite yang memiliki lingkaran horizontal bagi pembacaan arah mendatar, dan lingkaran vertikal bagi pembacaan sudut vertikal ataupun sudut zenith. Dengan sendirinya alat ukur tersebut mungkin saja tidak dalam keadaan sempurna, sehingga perlu pula diatur sumbu-sumbunya melalui pengaturan nivo serta sekrup koreksi yang bersangkutan. Bagi pengukuran jarak dapat dilakukan dengan EDM atau pita ukur yang tersedia.

Dalam tahap pengambilan data disinggung pula teknik pengukuran sudut yang berlaku, seperti cara reiterasi ataupun repetisi lengkap dengan pengambilan data sudut dalam kedudukan biasa ataupun luar biasa. Selanjutnya diuraikan teknik pengukuran kerangka Poligon, dan pengikatan baik cara ke muka maupun cara ke belakang. Demikian pula teknik berhitung dengan cara Cassini ataupun Collins. Demikian pula pada teknik pengukuran dan perhitungan kerangka dasar poligon dilengkapi dengan salah penutup serta koreksi yang diperlukan.

Bab ini dilengkapi dengan kesalahan pengukuran baik yang dilakukan oleh alat ukur, seperti lingkaran yang tidak horizontal, salah graduasi pembagian dan eksentrisitas pusat lingkaran, demikian juga kesalahan yang dilakukan oleh pengukuran dan sebagai akibat dari gejala alam.

7.6. Latihan 7

1. Guna kelengkapan dalam penentuan koordinat suatu titik diperlukan beberapa data, *kecuali*:
   a. jarak antar titik
   b. sudut antar sisi
   c. azimuth awal
   d. kordinat titik awal

2. Alat ukur sudut (theodolite) dapat bergerak ke semua arah, hal ini mungkin dilakukan karena tersedianya sumbu-sumbu, *kecuali*:
   a. sumbu pertama
   b. sumbu kedua
   c. sumbu putar
   d. sumbu lensa

3. Apabila pengukuran sudut horizontal dilakukan sebanyak empat seri, maka awal pengukuran adalah:
   a. 0^0 ; 60^0 120^0 ; 180^0
   b. 0^0 ; 30^0 ; 60^0 ; 90^0
   c. 00 ; 45^0 ; 90^0 ; 135^0
   d. 0^0 ; 90^0 ; 180^0 ; 270^0

4. Apabila pengukuran sudut vertikal dalam kedudukan biasa sebesar 65^0 40', maka pada kedudukan luar biasa adalah:
   a. 245^0 40'
   b. 114^0 20'
   c. 294^0 20'
   d. tidak ada yang benar

5. Pada pengukuran suatu kerangka dasar poligon tertutup dilakukan pengukuran sudut luarnya, maka selisih sudut jurusan awal dan akhir adalah sebesar:
   a. Σ sudut - n. 180^0
   b. Σ sudut - (n+2). 180^0
   c. Σ sudut - (n-2). 180^0
   d. tidak ada yang benar

6. Hasil pengukuran yang mengidap kesalahan tersebut harus didistribusikan ke semua data pengukuran sudut. Untuk kesalahan yang tak habis dibagi, sisanya diberikan pada sisi yang terpendek. Hal ini berdasarkan pemikiran:
   a. kesalahan pengukuran terbesar terdapat pada sisi yang pendek
   b. statistik menunjukkan pembagian berat yang tidak seragam
   c. kesalahan pengukuran yang terkecil terdapat pada jarak yang pendek
   d. berdasarkan asumsi saja

7. Penentuan sudut jurusan awal, kontrol, dan akhir umumnya dilakukan dengan pengamatan matahari. Untuk penentuan sudut jurusan tersebut diperlukan argumen:
   a. tinggi, waktu, deklinasi dan arah horizontal matahari
   b. tinggi, waktu, lintang dan sudut horizontal
   c. tinggi, deklinasi, arah horizontal matahari dan target
   d. tinggi, waktu, deklinasi, lintang dan sudut horizontal

8. Penentuan posisi awal untuk setiap kerangka yang besar di daerah yang terpencil selalu dilakukan dengan cara:
   a. pengikatan ke kerangka yang lebih besar
   b. pendefinisian sistem lokal
   c. pendefinisian sembarang
   d. pengukuran secara astronomis

9. Menurut Bowditch pengaturan hasil hitungan *(adjustment of computation)* dapat dilakukan berdasarkan patokan di bawah ini, *kecuali*:
   a. Kesalahan jarak sebanding dengan kuadrat jarak yang bersangkutan,
   b. Kesalahan azimuth berbanding terbalik dengan akar kuadrat jarak,
   c. Koreksi kepada absis dan ordinat berbanding terbalik dengan jaraknya.

10. Penentuan titik I dengan cara pengikatan kemuka dari titik P dan Q, dilakukan dengan pemecahan sistem persamaan linier, 4 persamaan dengan 4 parameter. Parameter tersebut adalah:

    a. $x_I ; y_I ; d_{PQ}; \alpha_{PQ}$
    b. $x_I ; y_I ; d_{PI} : d_{QR};$
    c. $x_I ; y_I ; d_{PI} ; \alpha_{QI}$
    d. $x_I ; y_I ; d_{QI} ; \alpha_{PI}$

11. Perbedaan algoritma hitungan yang dilakukan oleh Cassini dan Collins adalah disebabkan oleh perbedaan:
    a. jumlah lingkaran yang dipakai
    b. jenis alat hitung yang digunakan
    c. jenis alat hitung dan jumlah lingkaran
    d. tidak ada yang benar

12. Kesalahan sistematis yang terdapat dalam pelaksanaan pengukuran sudut dapat dikoreksi dengan melakukan pengamatan tambahan yang menyangkut *kecuali*:
    a. cuaca pada saat pengukuran
    b. kalibrasi alat
    c. pengaturan sumbu
    d. pengukuran tambahan

13. Kesalahan yang berasal dari pengukur sendiri, sesungguhnya dapat dieliminasi dengan melakukan pengamatan ketelitian ukurnya. Namun yang dapat ditera adalah bagian yang:
    a. sesaat peneraan
    b. perioda tertentu
    c. bagian konstan
    d. bagian yang bervariasi

BAGIAN KETIGA
PEMETAAN

TUJUAN INSTRUKSIONAL UMUM:
Pada bagian ini diharapkan pembaca dapat mengerti masalah pengukuran pemetaan secara utuh, baik pemetaan yang merupakan prakonstruksi maupun purnakonstruksi.

TUJUAN INSTRUKSIONAL KHUSUS:
1. agar para pembaca mampu membedakan masalah yang terdapat dalam pemetaan linier, situasi dan detail, kuantitas, lengkungan dan pematokan.
2. agar mampu mengidentifikasi peralatan yang terdapat dalam jenis pemetaan tersebut.
3. agar para pembaca dapat membedakan metoda pengukuran yang berlaku baik pada prapekerjaan konstruksi maupun setelah desain dilakukan.
4. agar memiliki kemampuan menghayati tata cara perhitungan yang diperlukan, baik yang berakhir pada informasi numerik ataupun informasi grafis.
5. agar pembaca dapat mengidentifikasi tata cara penggambaran yang diperlukan dalam pemetaan linier, situasi dan detail, kuantitas, lengkungan dan pematokan.
6. agar mampu mengidentifikasi kesalahan yang mungkin terjadi, baik yang disebabkan oleh pengukur, alat ukur maupun alam.

Yang dimaksud pemetaan adalah terdiri dari dua kategori, yaitu kategori pertama adalah pemetaan dasar. Maksudnya ialah pekerjaan pemetaan yang merupakan dasar, bagi pekerjaan pemetaan pembangunan lainnya. Dengan demikian di dalam ruang lingkup pekerjaan pemetaan ini, daerah ukur masih dalam bentuk "sebagaimana adanya". Data kemudian diambil, dihitung atau diolah dan dikembangkan untuk disajikan dalam bentuk peta, sesuai dengan permintaan pemberi pekerjaan. Sedangkan pada kategori kedua, pemetaan yang pekerjaan ukur yang dilakukan setelah peta yang pertama dipakai oleh para perancang dan perencana dalam meren-

canakan pembangunan atau pekerjaan konstruksi yang mereka maksud. Selanjutnya hasil desain dan perencanaan yang dituangkan di atas peta tersebut ingin dinyatakan kembali ke atas permukaan bumi. Pekerjaan aplikasi tersebut akan dibahas pada bagian keempat. Sehingga dapat dikatakan, bahwa arah dan alur kerja pertama bertolak pada jenis pemetaan pertama. Jenis pemetaan yang pertama, termasuk di dalamnya adalah pemetaan linier dan pemetaan situasi. Pemetaan ini memulai pekerjaannya dari atas permukaan bumi yang menyiratkan, bahwa data tersebut di atas benda tiga dimensi. Selanjutnya data hasil ukur tersebut ditransformasikan ke atas peta, yaitu ke atas permukaan kertas yang menyiratkan pola dua dimensi.

Keadaan inilah yang ingin diuraikan dalam bab-bab selanjutnya di bawah ini. Dalam bab 8 akan diuraikan pemetaan linier, yaitu suatu tata cara pembuatan peta yang paling sederhana, yang mengandalkan jarak ukur sederhana dan prisma tanpa suatu orientasi. Pada bagian selanjutnya, yaitu pada bab 9 akan dibahas pemetaan situasi yang menguraikan pembuatan peta secara lengkap dan semestinya. Pembahasan dimulai dengan menyelenggarakan kerangka dasar baik vertikal maupun horizontal, juga disinggung tentang penyediaan titik awal, sudut jurusan awal, dan sudut jurusan kontrol. Sehingga dengan demikian dapat diharapkan sebaran titik ikat yang merata ketelitiannya serta saling terikat di seluruh daerah ukur. Kemudian dibahas pengambilan dari titik detail yang akan menjadi wakil pada gambar peta nantinya.

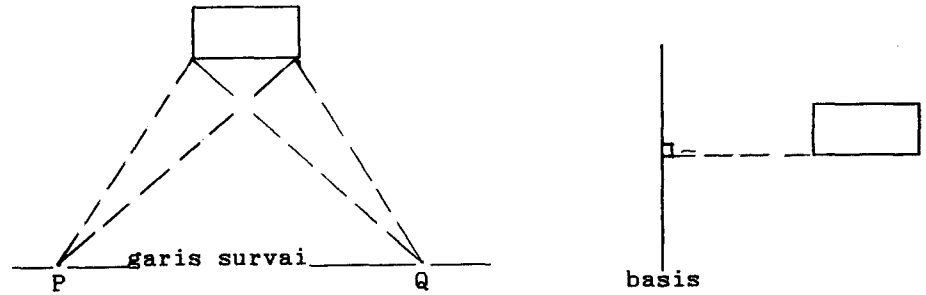
BAB VIII
PEMETAAN LINIER

Untuk kepentingan pekerjaan pendahuluan ataupun perencanaan sederhana, sering diperlukan peta yang tidak menghendaki posisi gambar dan jarak yang teliti bahkan tinggi titik detail juga diabaikan sama sekali. Untuk maksud tersebut pemetaan dapat dilakukan dengan mengandalkan pita ukur dan prisma ukur saja. Pembuatan peta ini mengandalkan pengukuran jarak lurus adalah teknik pemetaan yang paling sederhana tanpa melakukan pengukuran sudut secara khusus sama sekali.

8.1. Pendahuluan

Prinsip pertama pengukuran kerangka peta ini juga dikenal dengan nama pengukuran trilaterasi, karena daerah yang akan dipetakan dibagi dalam bentuk-bentuk segitiga dan yang diukur hanyalah jarak sisi-sisi segitiga tersebut. Salah satu sisinya terletak pada jalur survai yang dibangun terlebih dahulu, sedangkan kedua sisi lainnya bertemu di salah satu titik detail yang dipilih. Untuk dapat mengorientasi letak utara peta, maka tetap dimintakan sudut jurusan awal, dan koordinat awal di titik datum yang dipilih.

Prinsip pengukuran yang kedua adalah dengan mengandalkan sudut siku-siku terhadap basis dan titik target yang diperlukan.



a. prinsip segitiga b. prinsip siku-siku

Gambar 8.1. Prinsip dasar pemetaan linier.

Pengukuran ini terdiri dari dua tahapan yaitu mencari titik sudut siku-siku terletak pada garis survai atau basis, dan sudut tersebut tegak lurus kepada titik detail yang dipilih. Tahap kedua, adalah mengukur jarak dari titik tersebut baik ke titik nol basis, maupun ke titik detail yang dimaksud.

8.2. Pengambilan Data

Sebagaimana lazimnya, pada pengukuran ini juga diperlukan penyuluhan lapangan. Penyuluhan daerah pemetaan ini segera dilakukan sesudah para pengukur sampai ke lapangan untuk dapat menentukan langkah-langkah pengukuran yang merupakan desain bentuk kerangka yang akan diukur nantinya. Setelah dipastikan bentuk desain yang dipilih, maka barulah pengambilan data dapat dimulai. Terdapat lima kunci yang perlu diperhatikan dalam melakukan pengukuran tersebut, yaitu:

1. Prinsip utama pemetaan adalah dengan melihat daerah pemetaan secara keseluruhan untuk selanjutnya membaginya dalam bagian yang lebih kecil.
2. Pembagian daerah yang mempunyai bentuk segitiga tersebut haruslah mempunyai sudut-sudut di sekitar 60^0 atau siku-siku, agar dalam penggambarannya dapat dilakukan dengan cermat.
3. Penyajian sisi segitiga tersebut sebaiknya diusahakan melalui daerah yang cukup rata, daerah yang terjal sebaiknya dihindari dari lintasan pengukuran.
4. Stasion ataupun titik ukur haruslah dibuat sekuat mungkin kalau tidak mungkin membuat pilar. Juga stasion tersebut haruslah diusahakan agar saling terlihat dengan stasion di sekitarnya.
5. Apabila memungkinkan sisi kontrol (basis) haruslah dapat menembus di tengah daerah pengukuran sehingga dapat merupakan basis utama pemetaan tersebut.

Dengan sendirinya kelima prinsip pengukuran ini sesungguhnya telah tersirat dalam desain jalur utama pada pengukuran trilaterasi ataupun pada desain basis pengukuran pada pengukuran siku-siku yang akan dibangun tersebut.

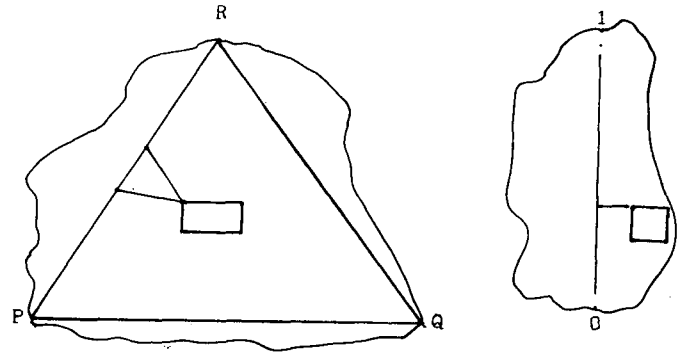
8.2.1. Penyuluhan

Untuk jenis pengukuran pertama umumnya diperlukan bentuk basis tiga garis yang membentuk segitiga pada daearh pengukuran. Umumnya segitiga ini mempunyai titik sudut di pinggir daerah

pengukuran. Selanjutnya ketiga sisi segitiga tersebut akan menjadi jalur utama pengukuran, artinya semua pengukuran titik detail dimulai atau dikaitkan dengan salah satu dari ketiga sisi ini.

Untuk jenis pengukuran kedua perlu dicari lintasan basis pengukuran yang melintasi daerah pengukuran. Kalau keadaan memungkinkan untuk meliput seluruh wilayah dengan satu basis, maka biasanya basis ini cukup satu buah saja namun apabila daerah pengukuran sudah padat dengan rumah, maka biasanya diperlukan penempatan basis kedua. Karena prinsip yang diterapkan adalah prinsip siku-siku, maka basis kedua ini haruslah pula tegak lurus pada basis pertama.

Semua patok rencananya ditegakkan untuk dapat diukur dengan mudah, maka semua jarak yang membentuk segitiga yang direncanakan harus dapat segera diukur dengan memakai cara-cara yang telah dijelaskan di atas. Artinya sisi kontrol segitiga ataupun basis harus ditempatkan sedemikian rupa sehingga mampu mengkontrol semua patok yang direncanakan tersebut.



Gambar 8.2. Rancangan jalur survai dan basis.

Umumnya sebuah daerah pengukuran, misalnya pedesaan selalu dibelah dua oleh jalan utama. Jalan ini biasanya lurus membelah dua desa yang bersangkutan, sehingga baik untuk dijadikan sisi kontrol atau basis yang dicari tersebut. Beranjak dari sisi ini selanjutnya dapat direncanakan sisi-sisi segitiga lain yang diperlukan.

Dalam hal pembuatan sisi utama segitiga, yang juga disebut sebagai jalur survai, yang umumnya melingkupi daerah yang diukur ataupun dalam hal terpaksa membuat basis tambahan, perencana pengukuran haruslah tetap berorientasi kepada detail yang akan diambil datanya dan prinsip minimum.

8.2.2. Persiapan Peralatan

Kelengkapan alat ukur bagi pemetaan ini umumnya terdiri dari pita ukur, prisma ukur dan jalon. Jalon sangat membantu kecepatan pembidikan prisma (lihat bab kelima). Karena semua peralatannya sangat sederhana, maka pengaturan alat ukur dan kalibrasi pita ukur sangat diperlukan.

8.2.3. Pencatatan Data Ukur

Beberapa hal yang patut diperhatikan dalam melakukan pencatatan data ukur adalah bahwa dalam mencatat data titik detail yang dimaksud, juga perlu dilengkapi dengan penggambaran sketsa lapangan di sekitar titik yang bersangkutan. Hal ini sangat membantu pelaksanaan penggambaran nantinya.

8.2.3.1. Referensi pemetaan

Yang dimaksud dengan referensi pemetaan di sini adalah pembuatan sketsa dari daerah yang dipetakan secara menyeluruh. Referensi pemetaan tersebut dikumpulkan dari hasil sketsa yang dilakukan pada pengukuran titik-titik detail yang bersangkutan. Di dalam skets tersebut harus jelas terlihat bagian kerangka utama dari pemetaan yang dibangun, yang terdiri dari garis penghubung antar stasion utama tersebut. Garis tersebut adalah salah satu dari sisi segitiga ataupun basis yang telah didesain di atas.

8.2.3.2. Pembukuan pengukuran titik detail

Titik-titik detail yang akan diukur adalah jalan, pojok bangunan, belokan jalan dan saluran air. Pengukuran jarak tersebut dilakukan terhadap garis survai atau terhadap basis yang telah dibuat tersebut sebelumnya.

Semua sisi dari masing-masing segitiga berikut sisi kontrol harus diukur secara lengkap satu persatu terlebih dahulu. Untuk prinsip segitiga ini diambil dua titik sepanjang jalur survai yang paling dekat dengan titik detail yang bersangkutan, misalnya titik P dan Q pada gambar 8.1. a. Jarak kedua titik tersebut dari titik sudut segitiga diukur terlebih dahulu dan selanjutnya diukur titik detail yang bersangkutan dari kedua titik yang terdapat dalam jalur tersebut. Demikian pula dilakukan pada titik-titik detail lainnya dan patut diingat, bahwa mungkin saja pengambilan data titik detail dari sepasang titik ikat yang sama.

Pada pengukuran siku-siku, maka penentuan titik di sepanjang basis sangat ditentukan dengan kelincahan pengukur untuk bergerak sepanjang basis tersebut, yaitu agar didapatkan bayangan yang berimpit antara titik detail dan titik nol basis, (lihat gambar 8.1.b.). Apabila titik tersebut, yang merupakan titik sudut siku-siku yang dimaksud telah ditemukan, maka jarak titik tersebut diukur dari titik nol dan titik detail yang dituju.

Sesungguhnya dalam pelaksanaan pekerjaan pengukuran titik detail dapat dikombinasikan antara prinsip segitiga dengan prinsip siku-siku diatas, khususnya untuk pengambilan data di daerah sekitar basis dapat dilakukan dengan mengandalkan prisma ukur. Biasanya untuk pengambilan data secara umum dilakukan dari jalur survai pada segitiga utama yang bersangkutan, namun apabila terdapat detail yang sulit dicapai, maka dapat digunakan prinsip siku-siku atau kebalikannya.

Contoh 8.1. Pemetaan Linier

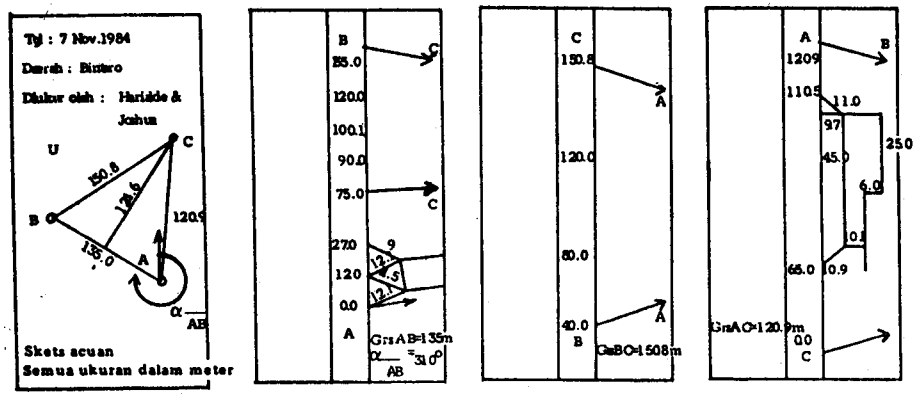
Pada gambar 8.3. di bawah ini digambarkan pemetaan linier terhadap sebuah daerah yang pendekatan awalnya menggunakan segitiga ABC. Namun ternyata juga dimintakan arah peta yang benar, sehingga dilakukan peng-ukuran sudut jurusan secara tersendiri (lihat bab 7 tentang pengukuran azimuth astronomis). Prosedur pengukuran dilakukan sebagai berikut:

1). Pertama sekali diukur panjang ketiga sisi segitiga acuan tersebut.
2). Kedua dilakukan pengukuran garis tinggi dari titik C. Titik siku-sikunya ditemukan dengan menggunakan prisma ukur yang bergerak sepanjang garis AB. Apabila titik tersebut sudah ditemukan, maka dapat langsung diukur panjangnya, dalam hal ini 124,6 meter.
3) Ketiga terhadap masing-masing sisi dapat dilakukan pengukuran titik detail baik dengan menggunakan prinsip segitiga, ataupun menggunakan prinsip siku-siku.

8.3. Pengolahan Data

Semua data yang didapat dalam pengukuran ini dapat dipakai secara grafis pada penggambaran yang diperlukan. Namun sebagaimana yang disinggung di atas, mengenai kalibrasi pita ukur, maka data mentah tersebut sebaiknya dikonversi kembali agar didapatkan data bagi penyajian grafis yang terbaik nantinya. Hal ini patut dilakukan, karena pemetaan linier ini umumnya diminta oleh pelaksana proyek

perumahan ataupun pengembangan suatu wilayah. Artinya kepentingan tanah sangatlah tinggi sehingga membutuhkan ketelitian ukur yang tinggi. Apalagi bagi pemetaan di lokasi yang berada di tengah kota, yang nilai tanahnya sudah sangat tinggi. Untuk maksud tersebut lihat pengukuran jarak serta koreksi kesalahannya pada uraian bab kelima.



Gambar 8.3. Pemetaan linier.

8.4. Penyajian Data

Penggambaran dapat dilakukan secara berturutan, dimulai dengan sketsa kasar, dilanjutkan dengan pembuatan kerangka segitiga, basis atau garis-garis survai yang ada, dan diakhiri dengan mencantumkan detail yang didapatkan.

8.4.1. Sketsa Kasar

Skets yang didapatkan dari lapangan dapat diskala sesuai dengan permintaan, agar dapat dipakai sebagai pegangan selanjutnya dalam penggambaran ini. Pernyataan skala dengan gambar sebaiknya dicantumkan di bagian bawah dari peta untuk menjamin pengerutan kertas gambar.

8.4.2. Penggambaran Kerangka Dasar

Setelah semua data ukuran jarak tersebut dikonversi sesuai dengan skala yang diminta, maka kerangka pemetaan dapat digambar se-

bagaimana mestinya. Terdapat dua kemungkinan yaitu segitiga utama yang melingkupi daerah pengukuran seperti pada gambar 8.3, ataupun basis yang dapat dibuat melalui tengah kertas gambar. Sesuai dengan skala yang dimaksud dapat pula digambarkan titik nol pada awal basis dan titik akhir pada akhir basis. Bagi kepentingan orientasi, yaitu dengan diukurnya sudut jurusan matahari seperti pada contoh 8.1, maka arah utara selalu diambil sejajar dengan pinggir kertas sebelah kiri.

8.43. Penggambaran Detail

Penggambaran detail harus dilakukan sesuai dengan garis survai yang terdekat dari titik detail yang bersangkutan. Terlihat semuanya cukup sederhana, namun teknik garis menyiku ataupun terdapatnya rintangan besar dan kecil akan sangat membutuhkan perhatian dan kerja yang cermat. Oleh sebab itu pada tahap pengukuran, pengukur harus jeli memutuskan prinsip ukur yang akan dipakaikannya.

8.5. Rangkuman 8

Umumnya pemetaan ini digunakan untuk kepentingan penjajakan ataupun pemilihan lokasi dari suatu rencana awal pembangunan. Kemungkinan yang lain adalah terdapatnya rencana pemindahan lokasi pemukiman penduduk misalnya transmigrasi disebabkan daerahnya akan digunakan sebagai lokasi pembangunan tertentu. Ataupun pemetaan ini dapat pula sebagai perkiraan luas dari suatu daerah guna penempatan pemukiman baru.

Dengan demikian umumnya peta ini tidak memerlukan orientasi arah utara dengan baik, karena memang tidak terlalu diperlukan dalam acara perkiraan ini, sekalipun apabila dimintakan dapat diberikan sudut jurusan sisi survai dengan arah utara magnetis.

Pengukuran yang berorientasi kepada letak grafis serta luas wilayah ini menggunakan dua cara pengukuran, yaitu pengukuran semua sisi segitiga yang dibangun dengan dua titik sudutnya pada garis survai dan titik ketiga adalah titik detail yang dimaksud. Atau pengukuran dapat pula dilakukan dengan mengandalkan garis survai yang merupakan basis dan umumnya ditempatkan di tengah wilayah yang akan diukur. Selanjutnya dilakukan penentuan titik-titik siku-siku terhadap basis dan terhadap titik detail yang dipilih. Biasanya posisi detail yang sulit dicapai diukur dengan menggunakan prinsip pertama, sedangkan yang mudah selalu lebih cepat dengan menggunakan prinsip kedua.

Sama sekali tidak ada pengolahan data yang diperlukan dalam pemetaan ini, kecuali jika kepentingan luas memang menjadi sasaran utama, maka jarak ukur yang dihasilkan oleh pita ukur tersebut sebaiknya dikalibrasi.

Penggambaran seluruhnya menggunakan teknik grafis yaitu berdasarkan sistem koordinat polar atau geografis, yang argumennya adalah jarak saja bagi prinsip yang pertama, dan jarak serta sudut siku-siku bagi prinsip kedua.

8.6. Latihan 8

1. Pemetaan linier dilakukan untuk mendapatkan gambaran sederhana dari daerah pengukuran, namun tanpa mengurangi ketelitian garis lurus (linier) yang diukurnya. Oleh sebab itu dapat dilakukan dengan cara *kecuali*:
   a. trilaterasi
   b. pengukuran sisi siku-siku
   c. pengukuran jarak
   d. pengukuran sudut siku-siku

2. Pada pengukuran jarak sisi segitiga yang dibangun diperlukan pengertian garis survai yang dijadikan referensi. Garis survai ini umumnya merupakan sisi:
   a. segitiga
   b. basis
   c. segi empat
   d. kerangka dasar

3. Pada pengukuran dengan mengandalkan basis, selalu diusahakan agar perletakan basis tersebut dapat mewakili semua daerah pengukuran. Hal ini umumnya dilakukan untuk daerah yang jenisnya:
   a. pedesaan
   b. perkotaan
   c. perkebunan
   d. perumahan

4. Pemilihan kerangka pemetaan linier ini kadang-kadang memerlukan kerangka ganda. Namun perletakan garis-garis survai dapat diatur dengan menggunakan pengukuran tambahan:
   a. sudut
   b. sudut jurusan
   c. sudut dan jarak
   d . jarak dan beda tinggi

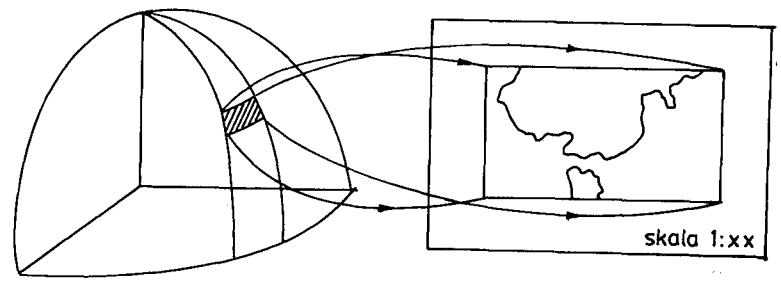
5. Dalam melaksanakan pengukuran dalam pemetaan linier ini, diperlukan data tambahan yang akan membantu penyelesaian pekerjaan nantinya, *kecuali*:
   a. sketsa daerah pengukuran
   b. sudut jurusan basis
   c. data pilar garis survai
   d. data cuaca selama pengukuran

6. Kepentingan utama menyediakan peta linier adalah yang berkaitan dengan luas wilayah yang diukur tanpa orientasi sama sekali. Namun hal ini hanya dapat dicapai dengan baik apabila:
   a. pengukurannya teliti
   b. alat dikalibrasi
   c. juru ukurnya teliti
   c. alamnya menunjang

7. Penggambaran dilakukan berturutan mulai dari kerangka ke detail gambar yang diukur. Namun seandainya sudut jurusan tidak diukur, maka orientasi arah utara dapat diabaikan, karena:
   a. tidak diperlukan penggambaran b. tidak ada hitungan
   c. tidak ada gunanya c. tidak ada yang benar

BAB IX
PEMETAAN SITUASI DAN DETAIL

Pemetaan suatu daerah atau wilayah ukur yang mencakup penyajian bentuk dalam dimensi horizontal dan vertikal secara bersama-sama dalam suatu gambar peta dikenal dengan nama pengukuran situasi dan detail. Maksud dari pengukuran situasi ini adalah untuk mengambil data-data situasi lapangan pada daerah yang akan dipetakan. Data-data tersebut, harus dapat digambarkan lagi pada suatu bidang datar (bidang peta), dengan skala tertentu (misalnya 1 : 1000). Sehingga bayangan/gambaran situasi lapangan tersebut mencerminkan keadaan permukaan bumi yang sebenarnya dari suatu daerah atau wilayah ukur tersebut baik dalam dimensi horizontal maupun vertikal. Apabila daerah yang dipetakan sangat luas, maka patut diperhatikan transformasi yang terjadi yaitu permukaan tanah yang berdimensi tiga yang bersifat permukaan dalam ruang dan berbeda terrain (ketinggian), terhadap permukaan peta yang berdimensi dua yang bersifat bidang datar tanpa perbedaan terrain. Untuk maksud tersebut maka di atas peta penggambaran terrain diwakilkan oleh garis kontur.



a. Permukaan tanah (3 dimensi)

b. permukaan peta (2 dimensi)

Gambar 9.1. Transformasi informasi peta.

Pengukuran dilakukan terhadap semua benda atau titik-titik di lapangan yang dianggap dapat merupakan kelengkapan gambar dari pada sebagian permukaan tanah yang bersangkutan. Yang dimaksud dengan kelengkapan gambar di sini adalah semua benda yang menonjol yang terdapat dan tidak hanya buatan manusia saja, akan tetapi juga meliputi benda alam dan perubahan alam yang terjadi pada benda karena alam.

9.1. Pendahuluan

Maksud pengukuran situasi adalah untuk memindahkan bayangan dari sebagian atau seluruh permukaan bumi yang tidak teratur tersebut ke atas suatu bidang datar yang dinamakan peta (bidang datar di sini adalah sebagai salah satu bidang perantara).

Dalam pengukuran situasi ada beberapa macam ukuran yang harus dilakukan baik untuk kepentingan penyajian kerangka horizontal dan vertikal, maupun untuk kepentingan detail penggambaran dan situasi dari lapangan yang bersangkutan. Sehingga untuk penyajian peta situasi tersebut perlu dilakukan pengukuran:

a. Penentuan titik fundamental (x_o, y_o, h_o, α_o)
b. Pengukuran kerangka horizontal (sudut dan jarak)
c Pengukuran kerangka tinggi (beda tinggi)
d. Pengukuran titik detail (arah, beda-tinggi dan jarak terhadap titik detail yang dipilih sesuai dengan permintaan skala).

Pengukuran butir a, sesungguhnya terpisah dari pengukuran situasi dan detail ini, namun umumnya pemilik pekerjaan meminta agar peta yang dihasilkan nanti harus terikat pada sistem yang lebih besar, misalnya kerangka peta kotamadya atau wilayah yang telah tersedia sebelumnya. Demikian pula pengikatan dengan kerangka yang lebih besar ini akan memberikan titik awal yang tentu. Seandainya kerangka tersebut belum tersedia, maka selain membuat peta lokal tersedia kemungkinan lain, yaitu pengukuran secara astronomis yang memanfaatkan benda langit ataupun penentuan posisi dengan menggunakan satelit geodesi (Doppler).

9.2. Pengambilan data

9.2.1. Penyuluhan

Semua aspek yang akan dilakukan dalam pemetaan ini sangat terkait dengan medan pengukuran yang akan dihadapi, oleh sebab itu pengetahuan akan wilayah ukur serta bentuk kerangka dan jenis

pengukuran yang dilakukan akan sangat berperan dalam menyelesaikan pekerjaan ini dengan baik. Pekerjaan penyuluhan ini sebenarnya bukan hanya ditujukan kepada kondisi lapangan yang dihadapi saja, namun juga hasilnya berguna bagi mobilisasi peralatan dan pekerja. Karena bentuk kerangka yang didesain sebagai hasil survai pendahuluan ini tentu akan berhasil secara optimal apabila juga memperhitungkan efisiensi pemakaian tenaga kerja dan peralatan ukur yang sesuai.

Bentuk kerangka yang didesain tidak selalu harus sebuah poligon, namun dapat saja kombinasi dari kerangka yang ada. Yang penting diperhatikan adalah hubungan kemampuan alat dengan panjang sisi yang direncanakan. Alat ukur memiliki kemampuan ukur tertentu dan ketelitian ini merupakan fungsi dari jarak ukur. Dengan demikian perbedaan desain sisi yang terlalu ekstrim akan memberikan ketelitian yang juga ekstrim berbeda. Sehingga apabila perhitungan statistik *(adjustment of computation)* dijalankan, yaitu untuk mendapatkan hasil ukur yang tercocok *(convenient)*, maka keadaan yang ekstrim ini tidaklah memenuhi persyaratan pengolahan data.

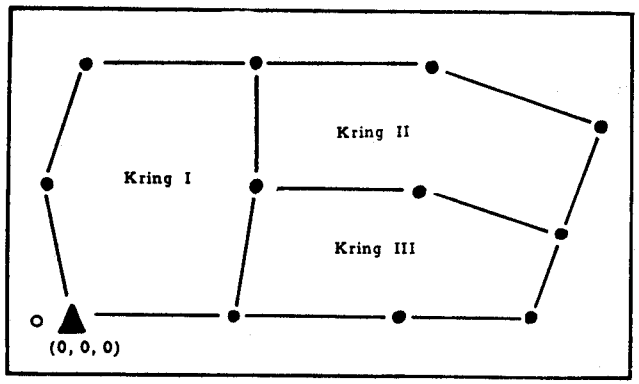
9.2.1.1. Pengukuran horizontal

Umumnya penyelenggaraan kerangka dasar yang bertujuan bagi pembuatan peta yang berukuran tidak terlalu besar, (bidang datar) dapat dipakai jenis kerangka poligon. Terdapat dua macam pengukuran yang dilakukan untuk menentukan posisi horizontal, yaitu pengukuran poligon utama, dan poligon cabang. Pengukuran poligon utama, dapat mewakili seluruh wilayah sebagai satu kesatuan sehingga merupakan batas dari daerah pengukuran. Kerangka dasar utama yang menggunakan pengukuran poligon ini umumnya dikenal dengan nama kring utama.

Selanjutnya beberapa titik poligon utama tersebut dapat dijadikan titik ikat pengukuran poligon cabang. Dari titik-titik poligon cabang ini, pengukuran titik-titik detail yang sulit dapat didekati dan ditentukan. Wilayah yang dibatasi oleh poligon cabang dengan lainnya dinamakan kring.

Pemilihan sebaran titik-titik kerangka utama sangat berperan dalam keberhasilan pemetaan situasi ini. Demikian pula banyaknya poligon cabang (kring) yang diperlukan patut disesuaikan dengan permintaan skala peta yang diminta oleh pemakai peta. Prosedur pengukuran jarak sudah dibahas di dalam bab kelima, sedangkan mengenai pengukuran sipat datar diuraikan dalam bab keenam dan

pengukuran dan perhitungan sudut sudah diuraikan secara panjang lebar di dalam bab ketujuh.



Gambar 9.2. Kerangka dasar horizontal dan vertikal

9.2.1.2. Pengukuran beda tinggi

Ada dua jenis pengukuran ketinggian yang dilakukan dalam pengukuran situasi ini, yaitu:

a. Pengukuran Sifat Datar Utama
b. Pengukuran Sifat Datar Cabang

Kerangka vertikal ini umumnya selalu mengikuti kerangka dasar horizontal yang telah dibangun terlebih dahulu (lihat gambar 9.2). Hal ini memang sengaja dilakukan karena, pada dasarnya perencanaan kerangka dasar pemetaan tersebut sudah sekaligus dipikirkan kepentingan aspek vertikal dari daerah bersangkutan. Mengenai pengukuran beda tinggi sudah dibahas dalam bab keenam.

9.2.1.3. Pengukuran detail

Tinggi dan posisi titik-titik detail dapat ditentukan dari posisi titik-titik ikat pada kerangka dasar utama maupun kerangka cabang. Penentuan posisi tersebut dapat dilakukan dengan berbagai macam cara pengukuran yang lazim dipakai, seperti yang telah diuraikan dalam bab kelima, keenam dan ketujuh. Keadaan lapangan pengukuran merupakan salah satu pertimbangan untuk menentukan jumlah jalur poligon cabang maupun sipat datar yang harus dibuat. Data yang diambil di lapangan pada pengukuran detail ini adalah:

a. beda tinggi antara titik ikat kerangka dan titik detail yang bersangkutan.
b. jarak optis atau pita ukur antara titik kerangka dan titik detail tersebut
c. sudut antara sisi kerangka dengan arah ke titik detail yang bersangkutan, atau sudut jurusan magnetis dari arah titik detail yang bersangkutan.

Pemilihan titik detail ini sangat berkaitan dengan kelengkapan peta yang diinginkan, seperti beberapa persyaratan yang berikut:

a. Beda kontur dalam penggambaran nantinya tergantung dari skala yang diminta. Dari bilangan skala tersebut selanjutnya diperkirakan gerakan pemegang rambu oleh juru ukur.
b. Penggambaran garis kontur hanya boleh dilakukan dengan melakukan interpolasi antara dua buah titik detail saja. Dengan demikian gerakan pemegang rambu dapat diatur dari satu titik ke titik detail lainnya.
c. Pemilihan nilai ketinggian garis kontur untuk penggambaran diambil bertahap sesuai dengan kelipatan beda kontur dengan bilangan bulat *(integer)*.
d. Penggambaran dimulai dari ketinggian terendah dari kelipatan beda kontur, namun nilainya lebih besar jika dibandingkan dengan titik detail yang terendah.

9.2.2. Persiapan Peralatan

Peralatan yang diperlukan adalah theodolite dengan kompas, pita ukur dan rambu ukur. Ketiga alat ini diperlukan dalam pengukuran, karena data yang akan diambil adalah:

a. sudut jurusan magnetis
b. jarak horizontal
c. beda tinggi tachymetri

Dari hasil sudut jurusan magnetis, tersirat bahwa arah utara yang dihasilkan oleh pengukuran tersebut tidaklah sama dengan arah utara astronomis dan arah utara peta. Untuk arah utara yang diperlukan, maka perlu dilakukan koreksi Bousolle, yaitu koreksi terhadap penyimpangan yang terdapat di antara arah utara magnetis dan arah utara astronomis. Penyimpangan yang terjadi pada arah utara peta dari arah utara astronomis dapat diabaikan, mengingat luas daerah yang dipetakan cukup kecil. Sehingga penyimpangannya tidaklah berpengaruh pada hasil peta nantinya.

9.2.3. Pencatatan Data Ukur

Untuk dapat menghasilkan peta yang baik, maka dalam melaksanakan pengukuran situasi ini perlu dilakukan kerja sama yang baik antara pemegang rambu dengan pengukur. Berbeda dengan pengukuran yang terdahulu, maka dalam pengambilan titik detail dapat dikatakan sangat tergantung dengan keempat persyaratan di atas. Untuk mencapai maksud tersebut, maka pelaksanaan ukurnya dapat dilakukan secara berikut:

- Buatlah skets dari daerah yang akan diukur, lengkap dengan arah utara sasaran.
- Aturlah alat sedemikian rupa sehingga siap untuk digunakan.
- Perintahkan pemegang rambu ke titik detail yang diperlukan. Perintah ini harus sesuai dengan petunjuk dari juru ukur yang berorientasi pada persyaratan di atas.
- Catatlah tinggi alat ukur pada buku ukur, dan teropong diarahkan ke rambu dengan bacaan yang sama dengan tinggi alat di titik tersebut.
- Untuk kepentingan jarak dan beda tinggi didapat dari hasil pembacaan benang tengah, benang atas dan benang bawah.
- Setelah pengamatan selesai, pada posisi pertama dan sebelum alat dipindahkan pada posisi yang baru, rambu terakhir tetap diam di tempat sebagai ikatan bagi titik selanjutnya.
- Setelah alat ditempatkan pada posisi yang baru dan alat diatur, bidikan pertama diarahkan kembali pada rambu terakhir tadi. Pengukuran ini dilakukan sebelum melakukan pengamatan selanjutnya.
- Cara-cara tersebut dilakukan sampai pengukuran titik detail yang diperlukan dianggap mencukupi.

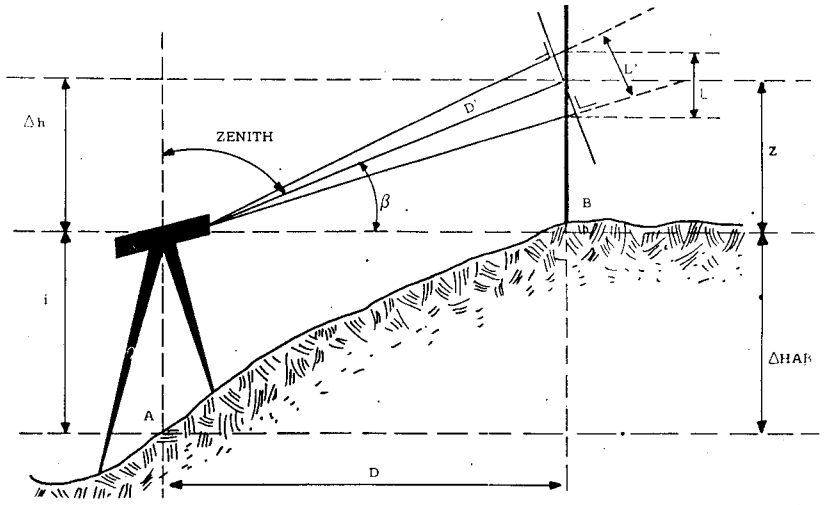
9.3. Pengolahan Data

Posisi dari suatu titik detail dapat digambar secara grafis apabila diketahui, arah dan jaraknya dari suatu titik tertentu (dari kedudukan alat). Arah yang dimaksud didapat dari hasil pembacaan sudut jurusan dari arah utara magnetis.

Sedangkan jarak horizontal dari tempat alat berdiri sampai titik detail yang dimaksud, dapat dihitung dari hasil pembacaan benang atas dan benang bawah serta sudut vertikalnya.

Besarnya jarak dapat dihitung dengan rumus:

$$D = (ba - bb).\ 100$$



Gambar 9.3. Pengukuran jarak taehymetri.

Menentukan jarak mendatar dan beda tinggi antara titik A dan B dengan cara tachymetri, dalam hal ini:

h = beda tinggi antara teropong dengan titik sasaran (benang tengah)
H = beda tinggi antara titik A dan B
D = jarak mendatar antara titik A dan B
D' = jarak miring antara titik A dan B
TA = tinggi alat
bt = tinggi sasaran (bacaan benang tengah)
L' = panjang bacaan mistar
L = panjang bacaan mistar yang diredusir
β = sudut miring antara arah teropong dengan garis bidik
Maka jarak miring didapat:

$$D' = L\ .\ 100 = 100\ .\ L'\ .\ \cos \beta$$

Jarak mendatar didapat dengan memproyeksikan jarak miring D terhadap sudut miring (vertikal). Sehingga jarak mendatar antara titik A dan B dapat ditentukan sebagai berikut:

$$D = D'\ .\ \cos \beta = 100\ .\ L'\ .\ \cos^2\beta \quad \text{.....} \quad (9.1)$$

Selanjutnya beda tinggi (δ H) didapat dengan:

$h = D \cdot \sin ß = 100\ L'. \cos ß. \sin ß$

Apabila perhitungan di atas dikaitkan dengan tinggi alat TA dan tinggi sasaran (bacaan benang tengah bt), maka rumus beda tinggi antara titik A dan B (δ H) didapat dengan rumus:

$$\delta H = TA + \delta h - bt = h + (TA - bt) \quad \text{..... (9.2)}$$

Dengan menggunakan kedua rumus di atas, maka semua hasil pengukuran detail berupa jarak miring dan sudut miring dapat menentukan jarak mendatar dan beda tinggi di antara alat dan titik detail yang bersangkutan.

Dari hasil pengolahan ini didapat data-data:

a. Titik Ikat : (x, h, H), dan
b. Titik detail : (α_{Id}, d_{Id} dan h_d).

α_{Id} adalah sudut jurusan dan d_{Id} adalah jarak mendatar di antara titik ikat (I) dan titik detail (d) yang bersangkutan. Sedangkan h_d adalah tinggi titik detail yang diturunkan dari tinggi titik ikat dan beda tinggi kedua titik yang bersangkutan.

9.4. Penyajian Data

Penggambaran data-data tersebut dilakukan dalam empat tahapan, yaitu:

1. Ploting titik ikat atau kerangka dasar pada *milimeter block* dengan menggunakan sistem koordinat kartesis.
2. Ploting titik detail tersebut digambarkan secara grafis dengan argumen sudut jurusan, jarak mendatar, dan ketinggian.
3. Menarik garis kontur dan menggambarkan detail yang ada, di atas *milimeter block* tersebut sesuai dengan skala dan tata cara yang berlaku.
4. Meng-*copy* hasil no. 3, ke atas kertas kalkir.

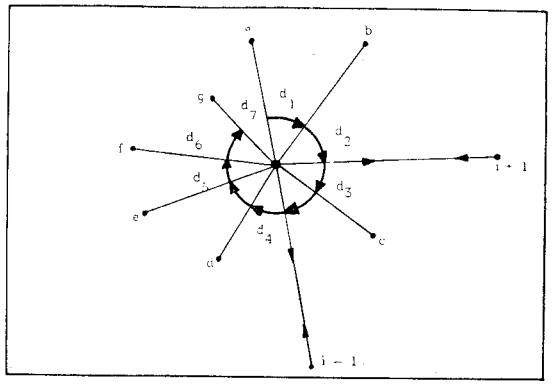
9.4.1. Plotting Kerangka Dasar

Pertama yang patut diperhatikan adalah skala yang diminta, sehingga berdasarkan skala tersebut semua data titik ikat dapat digambarkan. Data yang terdapat sebagai hasil hitungan adalah absis dan ordinat dari semua titik ikat kerangka. Data tersebut dikonversi

sesuai dengan skala yang diminta. Apabila plotting dari semua posisi titik ikat telah dilakukan, maka selanjutnya semua titik tersebut dihubungkan dengan garis lurus penghubungnya, sehingga tergambar bentuk kerangka yang dimaksud. Umumnya informasi yang ditambahkan dalam penggambaran kerangka ini adalah simbol titik dengan nomor dan ketinggiannya serta bentuk kerangka, yaitu garis yang menghubungkan semua titik ikat tersebut secara berturutan.

9.4.2. Plotting Titik Detail

a. Titik detail yang diambil atau diukur dari titik kerangka tertentu dapat diplot berdasarkan sudut jurusan dan jarak (DATAR) sesuai dengan masing-masing titik acuannya.
b. Plotting dilakukan langsung pada kertas gambar (GRID), di mana titik poligon sudah diplot sebelumnya.
c. Cantumkan nomor-nomor titik detail dan ketinggiannya.



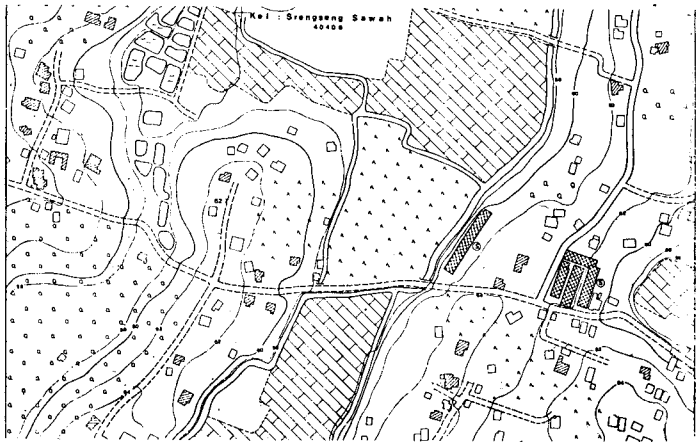
Gambar 9.4. Plotting titik ikat dan detail

9.4.3. Penggambaran Detail

1. Sesuai dengan bentuk detail yang dimaksud, seperti batas-batas kampung, sawah, ladang atau punggung *(top)*, maka titik-titik yang telah diplot dapat dihubungkan sesuai dengan tergambar pada sketsa di buku ukur lapangan, misalnya pinggir jalan, pinggir sungai dan lain sebagainya.
2. Setelah jelas tentang detail yang digambar, maka selanjutnya keterangan seperti legenda atau simbol dapat dimasukkan

menurut ketentuan legenda-legenda atau simbol-simbol yang berlaku pada bidang topografi yang bersangkutan.

3. Cantumkan nama-nama kampung, sungai dan bukit di titik atau daerah yang diukur. Juga harus diperhatikan ukuran tarikan-tarikan digunakan untuk masing-masing detail.
4. Penggambaran atau yang biasa diistilahkan dengan penarikan kontour menurut interval tertentu, maka bentuknya harus sesuai dengan yang tergambar pada sketsa di buku ukur lapangan. Bentuk kontour pada umumnya untuk skala kecil dan skala besar akan mempunyai perbedaan pada penggambaran curah-curah atau lembahnya. Untuk skala kecil (lebih kecil dari 1 : 5000) bentuk curah seperti V kelihatan runcing, sedang untuk skala besar (lebih besar dari 1 : 5000) bentuk curah seperti V tidak begitu runcing. Untuk skala lebih besar dari 1 : 1000 bentuk curah-curahnya tidak lagi seperti huruf V, melainkan berbentuk busur yang lonjong.



Gambar 9.5. Gambar situasi Srengseng Sawah.
(Dengan izin Dinas Pemetaan dan Pengukuran Tanah DKI)

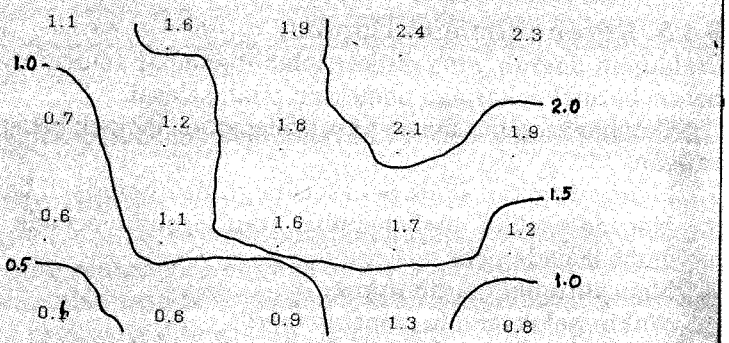
5. Setiap garis kontour yang mempunyai kelipatan 10 dari intervalnya harus digambar tebal dan diberi angka ketinggiannya. Penulisannya berdiri ke arah naiknya kontour. Pada umumnya interval kontur ditentukan berdasarkan skala peta dan konstanta pembagi 2000.

$$\text{Beda kontur} = \frac{1 \times \text{Bilangan skala}}{2000} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (9.3)$$

Contoh 9. : Penggambaran garis kontur

Untuk skala 1 : 1000, maka
Beda kontur = (1000 : 2000) x 1 meter = 0,50 meter

Tinggi titik detail yang terendah adalah 0,6 meter
Tinggi garis kontur yang terendah adalah n x BK 0,6
n terkecil yang memenuhi syarat tersebut adalah n = 2, maka
tinggi garis kontur yang paling rendah (yang pertama) adalah:
n x BK = 2 x 0.5 = 1 meter
Jadi selanjutnya dilakukan interpolasi letak garis kontur yang berada di antara titik detail yang tersedia.
Tinggi garis kontur yang pertama = 1 meter, dan selanjutnya dengan beda kontur 0,5 meter, maka:
Tinggi garis kontur yang kedua adalah 1 + 0,5 = 1,5 meter
Tinggi garis kontur yang ketiga adalah 1,5 + 0,5 = 2,0 meter
Selanjutnya tinggi garis kontur keempat 2,0 + 0,5 = 2,5 meter
Namun tinggi titik detail yang terbesar adalah 2,4 meter, sehingga interpolasi garis kontur keempat tidak dapat dilakukan.
Dengan demikian hanya terdapat 3 buah garis kontur, yaitu yang memiliki ketinggian 1; 1,5 dan 2 meter saja.



Gambar 9.6. Penggambaran garis kontur

9.4.4. Memberi Warna

1. Apabila dikehendaki peta topografi yang berwarna, maka harus terpenuhi aturan yang berlaku untuk peta topografi.

Warna hijau : untuk yang berhubungan dengan tumbuh-tumbuhan
Warna biru : yang berhubungan dengan air.
Warna merah : yang berhubungan dengan kegiatan manusia.
Warna coklat : yang berhubungan dengan tanah.
Warna vermillion : untuk garis kontur.

Semua legenda yang sahih *(valid)* digambar dengan menggunakan tinta hitam, seperti pohon kelapa, dan obyek detail lainnya. Gambar topografi ini umumnya dibuat untuk kepentingan peta dasar yang selama ini dikerjakan oleh Dinas Topografi Angkatan Darat atau Direktorat Geologi. Gambar ukur yang umumnya digunakan untuk pekerjaan konstruksi umumnya dikerjakan hanya dengan tinta hitam saja.

2. Apabila peta yang dibuat cukup digambar dengan tinta (hitam) maka setelah diperiksa kembali dan tidak ada kekurangan-kekurangannya barulah ditinta dengan menggunakan alat gambar dengan tinta hitam.

Perhatikan aturan tebal-tipis tulisan dan angka pada peta. Tidak seluruh peta digambar ataupun ditulis dengan tebal yang sama.

9.4.5. Kesempurnaan Gambar

Walaupun daerah yang diukur telah digambar seluruhnya, hal ini belum berarti pekerjaan pemetaan telah selesai.

Gambar tersebut masih harus dilengkapi dengan beberapa keterangan:

1. Mencantumkan skala peta secara grafis/numeris di bawah peta.
2. Mencantumkan simbol-simbol atau legenda-legenda yang tergambar pada peta.
3. Mencantumkan arah utara.
4. Waktu pelaksanaan pemetaannya.
5. Mencantumkan jenis peta dan lokasinya.
6. Keterangan lain yang dianggap perlu.

Gambar 9.7. Informasi tepi pada peta.
(Dengan seizin Dinas Pemetaan dan Pengukuran Tanah DKI)

9.4.6. Peta Indeks

Setelah gambaran permukaan bumi sudah dipindahkan ke lembaran peta berskala, maka masalah yang timbul adalah jumlah lembar peta tersebut. Jumlah peta DKI misalnya akan sangat besar sekali apabila skala peta yang dibuat juga sangat besar. Untuk mencari peta yang diinginkan juga akan merupakan masalah tersendiri. Lembar peta tersebut selanjutnya diberi indeks dan dibuatkan peta indeksnya. Dengan demikian peta indeks umumnya berisikan satu kesatuan wilayah yang terbagi dalam sektor administrasi yang bersangkutan lengkap dengan batas wilayah, kecamatan dan jalan yang tersedia.

9.5. Rangkuman 9

Pengukuran situasi dan detail ini sesungguhnya diawali dengan perencanaan pengembangan suatu daerah, artinya ada maksud tertentu memetakan wilayah ukur tersebut. Maksud tersebut dapat dituangkan menjadi kebutuhan peta yang diperlukan. Salah satu yang paling penting adalah skala peta yang diperlukan. Salah satu yang paling penting adalah skala peta yang diperlukan, karena dari sanalah beranjak perencanaan pengukuran yang akan dilakukan nantinya. Dengan skala peta dapat diturunkan beda kontur yang diperlukan, dengan beda kontur diketahui, maka dapat pula direncanakan berapa kapasitas ukur per-regu ukur. Karena hal ini menyangkut teknik dan pola pengambilan titik detail yang sepenuhnya terletak di tangan juru ukur.

Penyuluhan lapangan yang menuangkan rencana pengukuran dalam bentuk kerangka, yaitu secara fisis dinyatakan oleh pilar titik-titik ikat di lapangan, akan membawa manfaat yang besar, karena penambahan informasi lapangan yang aktual. Sementara itu para teknisi lainnya sebaiknya mempersiapkan alat ukurnya dalam bentuk pengaturan sumbu dan semua bagian agar alat siap dipakai pada saat pengukuran. Selanjutnya regu-regu ukur dapat bekerja sesuai dengan tugasnya, yaitu pengukuran jaring sipat datar, kerangka horizontal dan pengukuran detail.

Apabila data telah diukur pada satu hari yang sama, harus segera dihitung dan diteliti salah penutupnya, sehingga tidak terjadi kesalahan yang tidak diketahui. Artinya hari demi hari pengukuran maju diikuti dengan kepastian akan kebenaran data ukur. Sehingga apabila ke luar dari wilayah ukur, semua data dapat dipastikan dalam keadaan masuk toleransi yang diberikan.

Penggambaran umumnya dilakukan empat tahapan, yaitu menggambar kerangka dasar dengan menggunakan sistem koordinat kartesis dan menghasilkan gambar titik ikat, nomor titik ikat, ketinggiannya serta garis penghubung antar titik ikat tersebut secara berurutan. Penggambaran ini dilakukan di atas kertas milimeter *block*. Tahap kedua adalah *plotting* titik detail dengan menggunakan sistem grafis, yaitu menggunakan argumen jarak, sudut jurusan dan beda tinggi antara titik ikat dengan titik detail yang bersangkutan. Hasilnya adalah gambar titik detail dengan tinggiannya. Tahap selanjutnya adalah menarik garis kontur yang didapat dari besaran bilangan skala yang ditentukan. Setelah semuanya selesai, maka hasil gambar ukur tersebut disalin ke atas kertas kalkir. Sebagai kelengkapan perlu ditambahkan informasi tepi yang berupa legenda, data-data pelaksana dan pemeriksa. Sampai tahap ini, peta tersebut masih dinamakan gambar ukur. Apabila ingin menjadi gambar peta sesungguhnya, maka gambar tersebut harus diberi warna sesuai dengan aturan yang berlaku.

9.6. Latihan 9

1. Dalam pengukuran dan pemetaan situasi diperlukan berbagai data melalui 3 bentuk pengukuran. Pengukuran tersebut adalah seperti di bawah ini, *kecuali* pengukuran :
   a. titik fundamental
   b. kerangka dasar horizontal
   c. kerangka dasar vertikal
   d. titik detail

2. Beberapa jenis kerangka dasar horizontal yang dapat dipakai dalam penyelenggaraan pemetaan situasi adalah sebagai berikut *kecuali:*
   a. poligon
   b. triangulasi
   c. pengikatan ke muka
   c. pengikatan ke belakang

3. Sebaran titik ikat dalam desain dan pengambilan titik detail dalam pengukuran secara berurutan mempunyai makna tertentu bagi penggambaran daerah tersebut, yaitu dalam hal:
   a. ketelitian titik
   b. meratanya titik ketinggian
   c. wilayah dan elemen gambar
   d. kehalusan penggambaran

4. Pemetaan situasi dan detail dari suatu daerah yang tidak memerlukan ketelitian yang tinggi dilakukan pengukuran dengan cara tachymetri. Pada teknik pengukuran itu diperlukan data-data ukur seperti:
   a. sudut vertikal, ba, bb, bt
   b. sudut miring, ba, bb
   c. sudut tegak, bt, ba, bb
   d. tidak ada yang benar

5. Data ukuran yang didapat pada pengukuran situasi akan diolah menjadi data gambar. Data gambar yang diperlukan itu adalah sebagai berikut *kecuali:*
   a. sudut jurusan magnetis
   b. jarak horizontal
   c. beda tinggi
   d. titik awal

6. Perbedaan pada teknik penggambaran bagi data kerangka dasar dan data titik detail disebabkan oleh karena perbedaan:
   a. ketelitian gambar
   b. maksud penggambaran
   c. argumen sistem koordinat
   d. alat yang dipakai

7. Beberapa kelengkapan gambar ukur atau gambar situasi adalah sebagai berikut *kecuali* :
   a. warna
   b. peta indeks
   c. informasi tepi
   d. legenda.

BAGIAN KEEMPAT
APLIKASI
PENGUKURAN DAN PEMETAAN

TUJUAN INSTRUKSIONAL UMUM:
Setelah mempelajari bagian ini diharapkan para pembaca akan mempunyai wawasan yang luas dan pengertian yang mendalam mengenai pemakaian teknik pemetaan dan pengukuran tanah dalam pekerjaan konstruksi.

TUJUAN INSTRUKSIONAL KHUSUS:
1. Pembaca mampu mengidentifikasi pekerjaan perhitungan luas dan isi dalam kaitannya dengan pekerjaan sipat datar, lengkap dengan perhitungannya.
2. Agar memiliki kemampuan membedakan jenis lengkungan dan pelaksanaan perencanaan lengkungan dalam kaitannya dengan belokan dan tanjakan serta turunan.
3. Agar mampu mengidentifikasikan pekerjaan pematokan yang berkaitan dengan pekerjaan yang bersifat linier ataupun lengkungan.

Aplikasi pemetaan yang dimaksud dalam bagian ini adalah pemetaan yang pekerjaan ukurnya dilakukan setelah peta yang pertama dipakai oleh para perancang dan perencana dalam merencanakan pembangunan atau pekerjaan konstruksi yang mereka maksud. Selanjutnya hasil desain dan perencanaan yang dituangkan di atas peta tersebut ingin dinyatakan kembali ke atas permukaan bumi. Pekerjaan aplikasi inilah yang akan dibahas pada bagian keempat ini.

Pada pemetaan jenis kedua ini, pekerjaan yang dilakukan misalnya, *stake out* (pematokan). Hal ini dilakukan dari atas peta yang menyiratkan pola dua dimensi dan ditransformasikan ke permukaan bumi yang berarti tiga dimensi.

Kesalahan yang umumnya terjadi adalah justru pada tahap yang kritis dan sederhana seperti ini, kritis karena kelihatannya sederhana, tetapi bisa berakibat besar. Sebagai contoh, umpamanya pengukuran dari suatu balok yang merupakan fungsi dengan perubah jarak. Seandainya, jarak yang didesain peta tersebut adalah X meter.

Namun sewaktu dilakukan pematokan kembali data yang dipakai adalah X meter, yaitu sebagai konversi jarak berdasarkan bilangan skala yang tercantum. Sehingga jarak di permukaan tanah adalah : X cm bilangan skala. Kalau seandainya jarak tersebut cukup pendek dan beban yang dipikul cukup ringan, mungkin hal ini tidak terlalu menjadi masalah. Tetapi seandainya jarak yang diambil cukup panjang dan beban yang dipikul cukup besar, maka momen yang merupakan peubah terikat dari jarak yang merupakan perubah bebas akan sangat mempengaruhi umur bangunan tersebut.

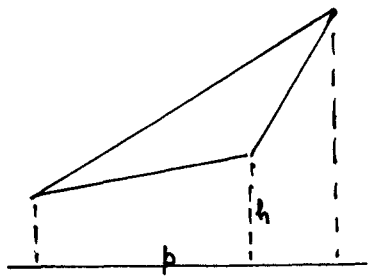
Keadaan inilah yang ingin diuraikan dalam bab-bab selanjutnya di bawah ini, yaitu jenis pemetaan bagi pekerjaan konstruksi, yang pertama adalah pengukuran untuk menghitung luas dan isi dari suatu pekerjaan konstruksi. Semua uraian dan contoh akan dibahas di dalam bab 10. Pada bab selanjutnya yaitu bab 11, akan dibahas pemetaan lengkungan atau yang lebih dikenal dengan "curve setting". Pemetaan lengkungan ini sangat berguna bagi pekerjaan konstruksi di permukaan bumi yang bentuknya memanjang. Terdapat dua jenis lengkungan yang akan dibahas, yaitu lengkungan horisontal yang menyangkut masalah belokan dari jalan ataupun pondasi saluran, dan lengkungan vertikal yang akan menyiratkan tanjakan atau turunan dari rencana sebuah jalan. Selanjutnya pematokan yang akan dibahas di bab 12 yang menguraikan masalah pematokan tanah dalam kaitannya dengan pelaksanaan, perencanaan sesuai dengan desain yang telah dituangkan di atas peta dasar yang terdahulu. Umumnya pekerjaan ini dikaitkan dengan pelebaran jalan, pembuatan saluran baru dan lain sebagainya.

BAB X
LUAS DAN ISI

Hampir di semua pekerjaan pembangunan, umumnya berkaitan dengan luas maupun isi atau volume, misalnya luas daerah pengukuran dalam kaitannya dengan pekerjaan "real estate", ataupun volume dari suatu pekerjaan teknik sipil yang besar seperti pembuatan saluran, bendungan dan sebagainya. Demikian pula pekerjaan yang mengikutsertakan galian maupun timbunan adalah pekerjaan teknik sipil selalu berkaitan dengan masalah luas dan isi. Umumnya pekerjaan pengukuran luas dan isi ini dapat dihasilkan langsung dari data hasil pengukuran, tetapi ada juga sebagian yang hanya didapat setelah penggambaran. Setelah selesai penggambaran dengan sendirinya perhitungan luas dan isi tersebut hanya dapat dilakukan apabila bentuk dari daerah tersebut adalah universal, yaitu bentuk geometrinya tidak ruwet. Namun yang umumnya terjadi adalah sebaliknya, sehingga perlu dilakukan pengesetan kembali agar didapatkan luasnya yang teliti. Di dalam bagian ini luas dan isi dibahas secara terpisah.

10.1. Pendahuluan

Masalah luas atau penentuan luas suatu daerah dapat dilakukan dalam dua cara yaitu luas yang diukur langsung, atau ukuran luas dari rencana hasil *plotting*. Maksudnya adalah bahwa dengan teknik ukuran tertentu serta untuk bentuk geometri yang lazim, maka luas daerah tersebut dapat ditentukan langsung dari data hasil ukuran. Namun tidak semua hasil ukuran mempunyai bentuk geometri sederhana, bahkan sebagian besar merupakan gambaran yang memiliki bentuk yang rumit. Sehingga untuk penentuan luasnya diperlukan *plotting* data ukur terlebih dahulu. Dari gam-



Gambar 10.1. Luas segitiga

baran hasil *plotting* tersebutlah, selanjutnya dapat ditentukan luas daerah yang bersangkutan.

Beberapa bentuk luas yang paling umum dalam pekerjaan konstruksi adalah sebuah luas bentuk segitiga dan trapesium atau dari gabungan segitiga. Jarak mendatar dari dua buah titik sudut adalah p, h adalah tinggi dari titik ketiga terhadap sisi di depannya sesuai dengan bentuk segitiga tersebut.

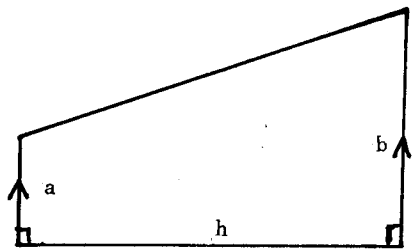
Rumus umum sebuah segitiga adalah:

Luas = 0,5 x p x h, ... (10.1)

Atau dapat juga dihitung dengan rumus trigonometri yang dikenal ilmu ukur sudut, yaitu:

Luas = 1/2 . a . b . sin C, atau
= 1/2 . c . a . sin B, atau ..... (10.2)
= 1/2 . a . b . sin C.

Luas sebuah trapesium adalah luas peralihan dari 1/2 jumlah sisi yang sejajar dikalikan dengan jarak dari kedua sisi yang sejajar tersebut. Jadi kalau sisi yang sejajar tersebut adalah A dan B dan jaraknya adalah H, maka:

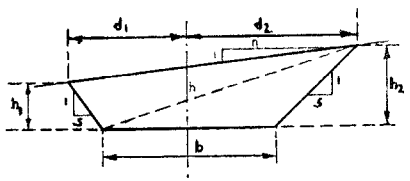


Gambar 10.2. Trapesium

Luas trapesium = 0,5 . (a + b) x H ..... (10.3)

10.2. Perhitungan Luas

Perwujudan kedua bentuk di atas yaitu segitiga dan trapesium, biasanya muncul dalam kombinasi yang tertentu di lapangan, misalnya yang umumnya dikenal dengan hasil potongan dari sipatan mendatar. Sehingga dari sipatan mendatar didapat sisi kiri dan sisi kanan dari level tengah atau garis tengah dari sipatan profil tersebut. Dari bentuk ini didapat jarak ke level tengah adalah d_1 dan d_2, tinggi masing-masing ujung bentuk tersebut adalah h_1 dan h_2, panjang alasnya adalah b (lihat gambar 10-3, maka



Gambar 10.3 Seksi dua level

Luas bidang dengan level ini didapat berdasarkan:

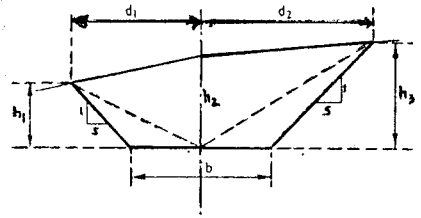
a. Variabel tinggi, adalah
$L = 1/2 . b . (h_1 + h_2) + (S . h_1 . h_2)$, ... (10.4)

b. Variabel offset, adalah
$L = \{ (d_1 . d_2)/s \} - (b^2/4s)$ ..... (10.5)

c. Variabel kemiringan dan tinggi menengah, adalah:

$L = (h + b/2s)^2 \{ (s . n^2/(n^2 - s^2) \} - b^2/4 . s$ ..... (10.6)

Bentuk lain dari rancangan konstruksi yang paling umum, adalah yang dinamakan dengan seksi tiga level, yang pada seksi ini, sisi atasnya terdapat dua buah. Kedua sisi atas miring dari seksi ini, mempunyai ratio yang berbeda. Dengan perkataan lain titik ketinggian pada seksi ini terdapat tiga buah, yaitu h_1, h_2 dan h_3. Seperti terlihat pada gambar, maka rumus luas yang dipakai adalah:



Gambar 10.4. Seksi tiga level.

Luas = $(b/4) . (h_1 + h_3) + (h_2/2) . (d_1 + d_2)$
..... (10.7)
= $1/2 . (d_1 + d_2 . \{h_2 + (b/2s)\} - b^2/4s$.

10.2.1 Cara Langsung

Ukuran luas yang didapat langsung dari buku ukur terdiri dari beberapa bagian. Hitungannya dapat dilakukan langsung dari hasil ukuran yang terdapat dalam buku ukur, atau dapat pula dilakukan dari hasil rumusan antara dari metode pengukuran untuk selanjutnya dilakukan perhitungan dengan menggunakan metoda bujur ganda, *(double longitude).*

10.2.1.1. Pengukuran jarak offset

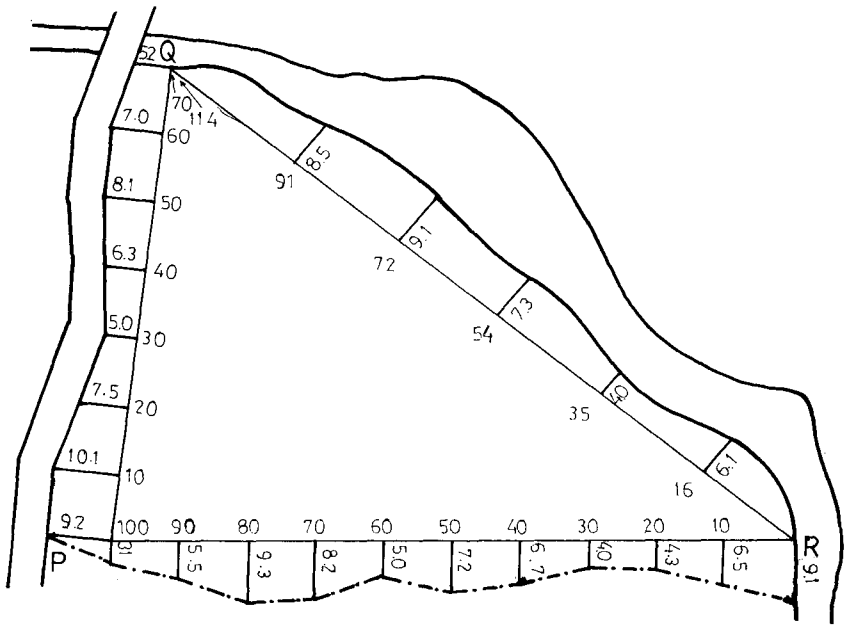
Dalam suatu pengukuran jarak untuk hitungan luas pada suatu daerah pengukuran, maka umumnya daerah tersebut dibagi menjadi

bentuk segitiga. Sehingga dengan sisi-sisi diketahui, maka luasnya dapat dihitung dengan mudah

Namun dengan sendirinya, terdapat pula beberapa daerah pengukuran yang tidak dapat dibentuk menjadi kelompok segitiga yang baik. Sehingga bentuk lain yang mungkin terjadi adalah sebuah trapesium. Dalam ilmu ukur bidang datar yang telah dipelajari, bahwa luas suatu daerah dinyatakan dengan rumus:

$$\text{Luas} = \sqrt{\{ s \,.\, (s-a) \,.\, (s-b) \,.\, (s-c) \}} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (10.8)$$

Dari gambar 10.5 daerah yang dibatasi oleh titik P, Q dan R langsung dapat dihitung luasnya karena membentuk suatu segitiga yang baik. Dengan mengetahui panjang dari ketiga sisi, maka rumus luas di atas dapat memberikan harga yang dimaksud.



Gambar 10.5 Pengukuran luas suatu daerah.

Namun bagaimana dengan daerah yang berada di luar sisi PQ, QR dan PR. Sisi pertama dari daerah tersebut yaitu PR yang berhubungan dengan hutan, sedangkan sisi PQ bersisian dengan jalan

dan sisi QR dengan sungai. Pada pinggir daerah tersebut dilakukan pekerjaan pematokan. Sehingga seperti yang terlihat pada gambar akan terdapat beberapa buah segi tiga yang umumnya terjadi pada ujung sisi yang bersangkutan Sedangkan di antara kedua segitiga tersebut terdapat beberapa buah trapesium.

Contoh 10.1. Hitungan luas ambil PQ = 70 m ; QR = 114,6 m ; RP = 100 m.

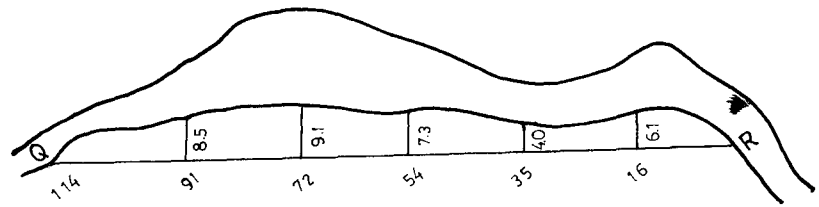
Maka luas daripada PQR didapat dengan menghitung terlebih dahulu keliling segitiga, yaitu : 2s = PQ + QR + RP = 284, 0 meter.
Maka 1/2 keliling tersebut, yaitu : S = 142,0 meter.
Selisih dari 1/2 keliling terhadap masing-masing sisi, adalah:
(s - PQ) = 72/0 ; (s - QR) = 27,4 ; dan (s - RP) = 42,0 meter.

Sehingga luas segi tiga PQR adalah:

$$\text{Luas} = \sqrt{(142{,}0 \,.\, 72{,}0 \,.\, 27{,}4 \,.\, 42{,}0)}$$
$$= 3430{,}13 \text{ m}^2$$

Seperti dikatakan di atas, maka luas segitiga PQR dapat dengan mudah dihitung, namun bagaimana dengan luas dari daerah sisanya, yaitu yang bersebelahan, dengan jalan, sungai dan hutan.

Kalau diperhatikan daerah yang dibatasi garis RQ dan sungai, maka terdapat dua buah segitiga, yaitu segitiga pertama dengan salah satu titik sudutnya R dan sisi segitiga keenam dengan salah satu titik sudutnya Q. Di antara kedua segitiga tersebut, terdapat 4 buah trapesium. Dengan demikian kalau dihitung satu-persatu, maka akan didapatkan jumlah luas daerah yang dibatasi oleh RQ dengan sungai yang bersangkutan.



Gambar 10.6. Luas daerah dengan selang pematokan sembarang.

Contoh 10.2: Luas cara offset

Dari gambar terlihat data hasil offset, sehingga dapat dihitung luas masing-masing bentuk, yaitu

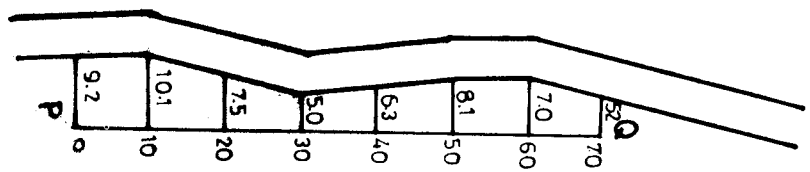
luas segitiga pertama	=	0,5 . (114-91)	. 8,5	=	97,75 m²
Trapesium pertama	=	0,5 . (8,5+9,1)	. (91-72)	=	175,7 m²
Trapesium kedua	=	0,5 . (9,1+7,3)	. (72-54)	=	147,6 m²
Trapesium ketiga	=	0,5 . (7,3 +4,0)	. (54-35)	=	107,35 m²
Trapesium keempat	=	0,5 . (4,0+6,1)	. (35-16)	=	95,95 m²
Segi tiga kedua	=	0,5 . 6,1 . 16		=	48,8 m²
Sehingga jumlah luas	=	673,15 m²			

Sisi kedua PQ yang bersebelahan dengan jalan juga terdiri dari deretan beberapa buah bentuk. Namun di sini pekerjaannya tidak dilakukan dengan selang pematokan yang sembarang. Pada sisi ini pematokan dilakukan dengan jarak yang tertentu, misalnya dengan selang ukuran setiap 10 meter. Terlihat pada sisi ini terdapat beberapa buah trapesium dan untuk setiap pasangan sisi terdapat trapesium yang luasnya sebesar:

Luas trapesium = 1/2 . selang pematokan.
{ Jumlah (sisi pertama + sisi kedua) } .... (10.9)

Sehingga kalau dihitung untuk setiap trapesium, maka sisi kedua sampai dengan sisi "satu terakhir" dipakai dua kali.

Sisi kedua trapesium pertama merupakan sisi pertama dari trapesium kedua. Demikian selanjutnya, sehingga didapatkan sebuah rumus luas bagi masing-masing trapesium, yaitu Luas = 0,5 (jumlah panjang offset x panjang selang)..... (10.10)



Gambar 10.7 : Luas daerah pada sisi PQ

Dengan demikian jumlah luas adalah setengah dari jumlah pematokan pertama dan *setting* kedua dikalikan dengan jarak selang

pematokan ditambah dengan setengah dari jumlah pematokan ke dua ditambah dengan pematokan selanjutnya dikalikan selang pematokan. Demikian selanjutnya, yaitu pasangan pematokan ketiga dan keempat dan seterusnya. Atau secara umum dikatakan luas daerah yang demikian adalah lebar selang dikalikan dengan rata-rata pematokan pertama dan terakhir ditambah dengan jumlah sisi pematokan lainnya.

Luas = panjang selang x
$[\{0,5 . (y_1 + y_n)\} + y_2 + y_3 + ... + y_{n-1}]$..... (10.11)

Contoh 10.3: Luas dari pematokan

Sehingga dari data pada gambar di atas dengan mudah dapat dihitung luas daerah tersebut.

Luas = 10 x
[{ (9,2 + 5,2)/2 } + 10,1 + 7,5 + 5,0 + 6,3 + 8,1 + 7,0]
= 512,0 m²

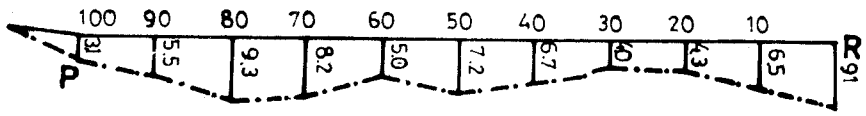
Apabila perhitungan dilakukan dengan lebih teliti, maka metoda Simpson yang dikenal dari kalkulus dapat dipakai pada kesempatan ini. Simpson mengatakan, bahwa luas suatu daerah di bawah suatu fungsi yang dibatasi oleh fungsi tersebut dengan sumbu X dan batas atas dan bawahnya, adalah sebagai berikut, (Sumbu X dalam hal ini adalah sisi PQ) :

Luas = 1/3 lebar selang x
{ (Sisi pematokan pertama + sisi pematoan terakhir +
+ 2 (Jumlah sisi ganjil)
+ 4 (Jumlah sisi genap) } .....(10-12)

Contoh 10.4: Luas cara Simpson

Sesuai dengan data yang terlihat pada gambar di atas, maka:
Luas = 10/3 x { (9,2 + 5,2) + 2 x (7,5 + 6,3 + 7,0) +
4 x (10,1 + 5,0 = 8,1) }
= 496 m²

Sisi terakhir adalah RP yang bersebelahan dengan hutan. Di sini pematokan dilakukan per 10 meter. Namun terdapat sisa jarak yaitu 4 meter. Maka luas daerah yang dibatasi oleh semua sisi offset itu dapat dihitung dengan cara Simpson ataupun cara trapesium dan sisanya yaitu yang sisinya 4 meter dapat dihitung sebagai sebuah segitiga.



Gambar 10.8. Luas daerah pada sisi RP

Contoh 10.5: Luas dengan selang patok yang sama
Dari data yang terdapat di dalam gambar, maka

Luas = 10 x
{ (3,1+9,1)/2) + 5,5 + 9,3 + 8,2 + 5,0 + 7,2 + 4,0 + 4,3 +
+ 6,5 } + (0.5 x 4 x 3,1)
= 634,2 m²

10.2.1.2. Kompas dan Poligon

Cara kedua dalam menghitung luas suatu daerah secara langsung adalah dengan menggunakan kompas dan poligon. Dalam perhitungan cara kedua ini luas dihitung secara langsung, seperti pada cara pertama yaitu dari hasil ukuran. Namun hitungan dilakukan berdasarkan dari koordinat hasil perhitungan yang terdahulu. Metoda yang dipakai adalah yang disebut dengan metoda bujur ganda.

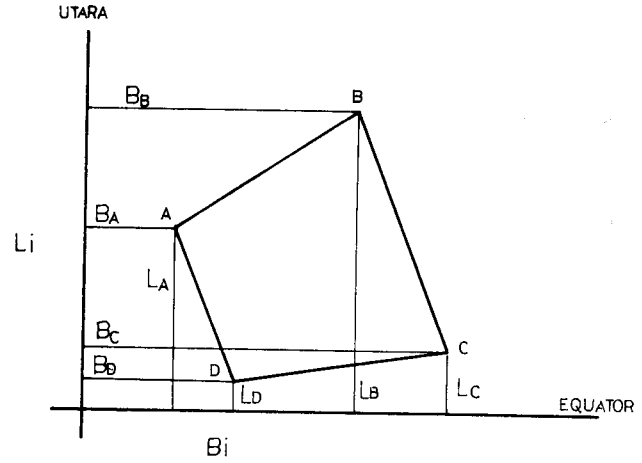
Bujur dari sebuah garis adalah jumlah penyimpang dari titik tengah garis yang bersangkutan. Atau dengan perkataan lain bujur dari sebuah sisi adalah rata-rata penggeseran dan titik ujungnya. Secara lebih pasti adalah bujur dari sebuah garis AB adalah:

Bujur = 1/2 x (penggeseran titik A + penggeseran titik B). (10.13)

Contoh 10.6: Luas Bujur Ganda 1

Pada gambar 10.9 terlihat sebuah segiempat dan juga sepasang segitiga dengan titik sudutnya A, B, C dan D. Keempat titik sudut tersebut sudah diketahui koordinatnya. Umpamanya:

	X (bujur)	Y (Lintang)
A	30	60
B	90	100
C	120	20
D	50	10



Gambar 10.9. Luas dengan bujur ganda.

Jadi luas kedua segitiga itu ABD dan BDC dapat dihitung melalui luas trapesium.

Luas segiempat ABCD adalah luas trapesium dengan sisi atas BC, ditambah dengan luas trapesium dengan sisi atas DC dan dikurangi oleh trapesium dengan sisi atas AB dan dikurangi pula oleh trapesium dengan sisi atas AD.

Maka luas segi empat ABCD dapat dicari kalau jarak dari sumbu Y ke masing-masing titik sudut untuk semua bentuk geometri yang akan dihitung itu diberikan. Jarak atau bujur titik-titik tersebut adalah B_A, B_B dan B_D. Sedangkan tingginya masing-masing titik terhadap sumbu X yang juga disebut lintang adalah L_A, L_B, L_C, dan L_D. Jadi yang tegak dinamakan lintang, dan yang mendatar dinamakan bujur. Dengan pengandaian sumbu X adalah khatulistiwa (equator), sumbu Y positif sejajar dengan arah utara. Dengan demikian luas segi empat ABCD adalah :

$$\text{Luas} = \{(B_B + B_C)/2)\} . (L_B - L_C) + \{(B_C + B_D)/2)\} . (L_C - L_D) - \{(B_B + B_A)/2\} . (L_B - L_A) - \{(B_A + B_D)/2\} . (L_A - L_D) \quad (10.14)$$

Dengan demikian didapatkan luas segi empat tersebut, yaitu apabila koordinat dari keempat titik sudutnya diketahui. Dengan cara yang sama dapat dihitung sebuah bentuk geometri yang semba-

rang, apakah bentuk poligon ataupun triangulasi dapat dihitung dengan catatan koordinat dari titik-titik sudut bentuk geometri tersebut telah diketahui, artinya besar lintang dan bujur dari titik-titik tersebut dapat dicari. Yaitu besar jarak titik tersebut terhadap sumbu X yang diandaikan sebagai khatulistiwa dalam sumbu Y positif yang diandaikan sebagai arah utara.

Contoh 10.7: Luas bujur ganda 2

Ambil bujur dan lintang dari titik A, B, C dan D seperti yang tercantum di dalam tabel di bawah ini;

	Bujur	Lintang
A.	30	60
B.	90	100
C.	120	20
D.	80	10

Maka luas dua buah segi empat A, B, C dan D adalah :

$$2 \times \text{Luas} = (90 + 120) \times (100 - 20) + (120 + 80) \times (20 - 10) - (90 + 30) \times (100 - 60) - (30 + 80) \times (60 - 10)$$
$$= 18800 - 10300$$
$$= 8500 \text{ m}^2$$
$$\text{Luas} = 4250 \text{ M}^2$$

Dengan demikian dapat dilakukan generalisasi rumus bujur ganda kepada semua bentuk geometri dengan langkah sebagai berikut :

1. hitung koordinat titik poligon ataupun titik sudut bentuk geometri yang dimaksud.
2. nyatakan dalam bujur dan lintang, ingat bahwa yang dimaksud dengan bujur adalah jarak titik yang bersangkutan terhadap sumbu Y. Lintang adalah jarak yang bersangkutan terhadap sumbu X.
3. Lakukan penjumlahan aljabar.
4. Hasilnya dibagi dua, lihat rumus 10.16).

10.2.2. Perhitungan Luas dari Rencana

Beberapa metode yang dilakukan dalam perhitungan luas ini umumnya diambil dari hasil *plotting* yang telah dilakukan untuk daerah yang bersangkutan.

Cara perhitungannya terdiri dari 3 jenis:

1. Cara grafis, yaitu dengan menggunakan selembar kertas transparan yang terdiri dari kotak-kotak, maksud yang dihitung dengan jumlah kotak yang dimaksud ke dalam daerah tersebut.
2. Cara Simpson, atau rumus trapesium yaitu daerah itu dibagi dalam deretan jarak yang sama atau *equidistance,* kemudian apabila koordinatnya atau jarak selang pematokannya diukur maka bisa dihitung pula dengan cara yang dibahas tadi.
3. Cara mekanik, yaitu dengan menggunakan yang diberi nama planimeter. Secara grafis bisa dikatakan hampir kita tidak permasalahkan kertas transparan yang umumnya sudah mempunyai kotak-kotak yang seragam, dan masing-masing mempunyai luas yang sama. Sehingga dengan menghitung jumlah kotak yang masuk di dalam daerah pengukuran hasil *plotting* daerah pengukuran dapat segera diketahui luas pendekatan dari seluruh daerah tersebut. Dikatakan "luas pendekatan" karena tidak seluruh daerah dapat diatur masuk ke dalam kotak-kotak yang tersedia tersebut.

10.2.2.1. Cara Planimetris

Jika terdapat daerah ukur yang terletak di sisi tertentu yang melebihi batas sisi, namun pekerjaan pematokan tidak dilakukan, maka beberapa cara yang telah dibahas, yaitu menggunakan aturan integral Simpson, trapesium atau segitiga yang dibangun tidak terdapat dalam kasus ini. Cara planimetri dengan menggunakan alat planimeter, dapat mengukur luas sekalipun bentuknya tak menentu. Alat ini memang dibuat sedemikian rupa, sehingga mampu mengikuti batas daerah ukur yang tak tentu itu. Terdapat dua jenis planimeter:

1. Planimeter dengan model indeks yang tetap, dan
2. Planimeter dengan model tongkat bergelinding.

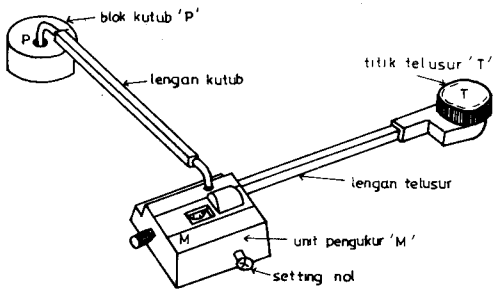
Sesungguhnya kedua model tersebut hampir sama, yaitu terdiri dari sebuah lengan panjang yang tetap; lengan ini dikenal dengan nama lengan polar. Lengan polar ini dikaitkan dengan sebuah kutub blok P yang tetap, jadi kutub blok P ini bergerak menjadi tumpuan dari pola pengukuran luas ini. Bagian kedua adalah sebuah pengikut jejak, lengan pengikut jejak yang membawa sebuah titik telusur dan titik ini dapat bergerak ke semua arah. Bagian yang menghubungkan kedua lengan ini, yaitu suatu mesin kecil dengan roda yang berputar

di bawahnya. Alat itu akan menunjukkan jumlah atau besar putaran yang dilakukan nantinya. Besar dari luas daerah ukur tersebut hanya dapat ditentukan, yaitu apabila titik penelusur itu telah kembali ke titik awalnya.

A. Model indeks tetap

Pada alat penghitung terdapat sebuah drum yang diputar oleh roda yang bergelinding tadi. Luas segera dapat dihitung, dengan langsung memperbanyak jumlah putaran tersebut dengan satuan putaran luas, sesuai dengan satuan yang diatur oleh pabrik. Sehingga dengan demikian apabila titik penelusur digerakan dari suatu titik berputar sekeliling daerah pengukuran sampai titik yang dimaksud, maka dapat ditentukan luas daerah tersebut.

Selain itu mesin penghitung tersebut juga dilengkapi oleh setting 0 sehingga dengan tepat suatu gerakan dapat dimulai sesuai dengan yang disebutkan di atas, planimeter ini ada 2 macam, yaitu model indeks tetap, dan model tongkat bergelinding.



Gambar 10.10. Planimeter

Pemakai model pertama, yaitu model indeks tetap dapat dilakukan dengan mengikuti tata cara sebagai berikut:

a. Letakkan blok kutub di luar daerah pengukuran
b. Letakkan titik telusur pada suatu titik yang mudah dikenali, misalnya berpotongan pada dua buah pagar.
c. Tekanlah tombol seting 0, maka apabila hal ini dilakukan pembacaan pada alat pada putaran 0,000.

d. Gerakkan titik telusur dengan hati-hati mengelilingi daerah pengukuran sampai kembali ke titik asalnya.
e. Catatlah data yang ditampilkan oleh pembacaan yaitu banyaknya putaran yang dihasilkan.
f. Lakukanlah operasi ini berulang supaya bisa dihasilkan data yang teliti.

Contoh 10.8: Luas cara planimeter 1

Ambil sebuah planimeter dengan perbesaran 100 kali. Hal ini berarti untuk setiap putaran yang dihasilkan oleh planimeter tersebut akan memberikan luas 100 cm^2.
Sehingga jika putaran yang dihasilkan untuk suatu daerah adalah 4,05 putaran, maka:
luas daerah di atas peta yang diukur = 4,05 x 100 cm^2
= 405 cm^2.

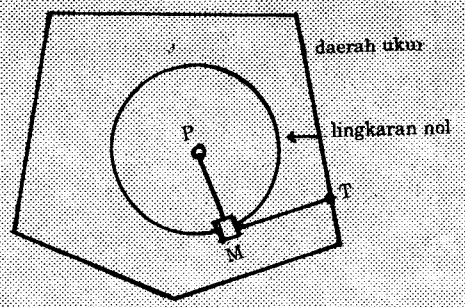
Sekali lagi luas yang dihasilkan ini adalah luas di atas peta, apabila skala petanya adalah 1 : 500, maka:
luas 1 cm^2 = 500 x 500 cm^2 di atas permukaan tanah, atau
1 cm^2 di atas peta = 250.000 cm^2 di permukaan tanah
= 25 m^2
Jadi untuk luas 405 cm^2 peta = 25 x 405 m^2
= 10.125 cm^2 di atas permukaan tanah.

Perhatikan bahwa perhitungan luas dari daerah di atas tidak menyebabkan titik kutub dan blok mekanik terlalu banyak berpindah tempat. Hal ini disebabkan oleh daerah yang diukur cukup kecil. Apabila daerah pengukuran sangat besar maka titik kutub dan blok mekanik akan membentuk suatu lingkaran. Sedangkan daerah yang diukur berada jauh di luar lingkaran yang bersangkutan.

Lingkaran yang dibangun oleh lengan kutub, yang di sekitar kutub disebut lingkaran nol. Besarnya sudah tentu untuk setiap planimeter. Dan harga putaran ini, (harga putaran lingkaran nol). ditambahkan kepada hasil bacaannya dari unit mekanis.

Contoh 10.9: Luas cara planimeter 2

Dilakukan pengukuran luas di suatu peta dalam skala 1 : 25000, maka
untuk 1 cm^2 luas diatas peta = 2500 x 2500 cm^2
= 625 m^2 di permukaan tanah.
Ambil jumlah putaran = 2,35.
Konstanta nol lingkaran = 22,30 (diberikan), maka
Jumlah putaran = 24,65.



Gambar 10.11. Planimetri daerah luas.

Karena pembesaran planimeter adalah 1 : 100.
Jumlah luas di atas peta adalah 24,65 x 100 = 2465 cm².
Dengan demikian jumlah lahan yang diukur adalah:

Luas = 2465 x 625
= 1540625 m²
= 154,0625 Ha

B. Model Tongkat bergelinding

Jelas sekali lagi terlihat, bahwa pembentukan bilangan nol hanya mungkin terjadi apabila titik telusur dan titik kutub berjarak cukup jauh, artinya daerah pengukuran cukup luas. Untuk mengatasi masalah di atas, maka dapat digunakan planimeter model tongkat yang bergelinding. Pada model ini unit mekanis dapat digerakkan sepanjang lengan penyelusur seperti yang terlihat pada gambar. Kedudukan unit mekanis dapat dikunci, pada kedudukan yang dikehendaki dan selanjutnya pemakaian dari modifikasi ini persis seperti planimeter yang terdahulu.

Contoh 10.10: Luas cara planimeter 3

Jika blok kutub ditempatkan di dalam wilayah, dan Hasil bacaan rata-rata dari 4 pengukuran :
bacaan pertama = 0000 untuk keempat bacaan, dan
bacaan ke dua adalah 4,320 ; 4,320 ; 4,321 ; 4,323 berturut-turut.
Maka areal yang sesungguhnya didapat dengan cara sebagai berikut:

1 putaran	=	4 Ha
Rata-rata	=	4,321
konstanta untuk lingkaran 0	=	25,73
Jumlah putaran	=	30,051, maka

Luas daerah pengukuran adalah 30,051 x 4 ha atau = 120,204 ha.

Sebagai penutup dari pembicaraan perhitungan luas daerah ini, maka diambilkan sebuah contoh dengan mengaitkan ketiga jenis perhitungan luas yang telah dipelajari di atas yaitu, berdasarkan *grid system* dengan menggunakan kota-kotak 4 bujur sangkar. Kedua dengan cara Simpson atau metode trapesium dan ketiga dengan cara planimeter.

Contoh 10.11: Perbandingan luas

Misalkan luas daerah pemetaan dihitung dengan empat (4) cara:

A. Apabila peta yang dimaksud di-*super-impose* (dihimpitkan) dengan kertas grid, yang mempunyai sisi 5 mm², maka
Luas per kotak = 25 x 0,25 m²
= 6,25 m² di permukaan tanah.
Maka luas yang ditentukan adalah 6,25 x jumlah kotak yang masuk ke dalam daerah pengukuran,

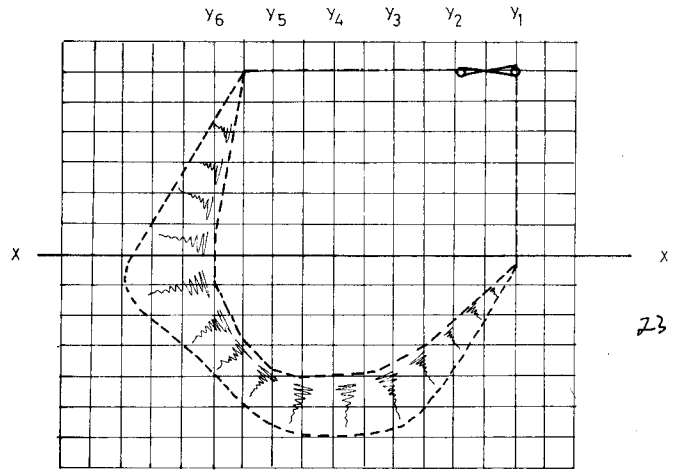
Jumlah kotak = 89, maka
Luas = 6,25 x 89
= 556,25 m²

B. Cara Simpson atau metode trapesium dari gambar terlihat bahwa garis-garis tersebut dapat dibuat sebagai garis dasar *(base line)*, sehingga luas daerah tersebut sekaligus didapat panjang sisi offset
16 m, 18,3 m, 20 m, 22,5 m, 23,8 m, 15,3 m dan 0.
Selang offset adalah 5 m sepanjang garis basis, maka
Luas = 5/3 { 16 + 0 + 2 x (20 + 23,8) +
+ 4 X (18,3 + 22,5 + 15,3) }

= 546,67 m²

C. Dengan cara trapesium :
Luas = 5 x { (16 + 0)/2 + (18,3 + 20 + 22,2 + 23,8 + 15,3
= 539,50 m²

D. Dengan cara planimeter indeks tetap didapat jumlah revolusi putaran adalah 0,2153,
Pada skala 1 : 500, satu putaran = 2500 m², maka
Luas = 0,2158 x 2500
= 245 m²

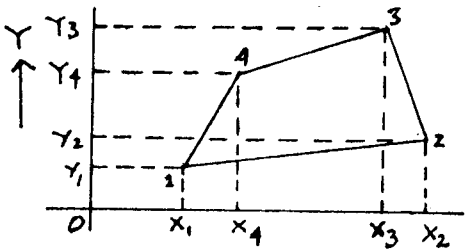


Gambar 10.12. Luas daerah sembarang.

Dari uraian terakhir ini jelas terlihat terdapat perbedaan hasil hitungan dari masing-masing cara berhitung. Dengan sendirinya yang paling teliti adalah apabila hasil ukurannya pun semakin teliti.

10.2.2.2. Mengukur luas penampang

Sesungguhnya cara ini adalah cara bujur ganda, hanya seperti yang terlihat pada gambar, terlihat keteraturan absis dan ordinat. Bentuk ini adalah hasil penggambaran dari potongan atau profil suatu pengukuran sipat datar. Bentuk ini juga dapat dihasilkan dari hasil desain para perancang untuk suatu pekerjaan galian dan timbunan bagi pekerjaan konstruksi, seperti jalan atau saluran.



Gambar 10.13a. Penampang bentuk.

Dari bujur ganda didapat hubungan:

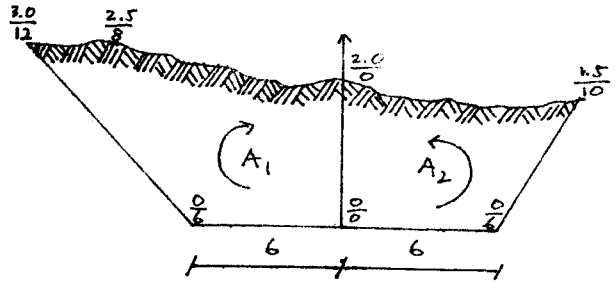
$$2\,\text{Luas} = (X_1Y_2 + X_2Y_3 + X_3Y_4 + X_4y_1) - (Y_1X_2 + Y_2X_3\ Y_3X_4 + Y_4X_1)$$

$$= \Sigma(X_nY_{n+1}) - \Sigma(Y_nX_{n+}) \quad \text{.....(10.15)}$$

Agar dapat diingat dengan baik, maka rumus tersebut ditulis dengan tata cara sebagai berikut:

$$\frac{Y_1}{X_1}\Big/\frac{Y_2}{X_2}\Big/\frac{Y_3}{X_3}\Big/\frac{Y_4}{X_4}\Big/\frac{Y_1}{X_1} \quad \text{.....(10.16)}$$

Susunan X dan Y untuk bidang sebelah kiri mengikuti putaran jarum jam dan sebelah kanan bergerak sesuai dengan kebalikan dari putaran jarum jam.



Gambar 10.13b. Luas penampang potongan.

Contoh 10.12: Luas penampang.

Untuk bagian penampang sebelah kiri tersebut mempunyai data sebagai berikut:

	Kiri (ki)		Kanan (ka)	
Titik	Tinggi	Bujur	Tinggi	Bujur
Ujung	3	12	1.5	10
Kedua	2.5	8	-	-
Atas garis	2	0	2.0	0
Garis bawah 1	0	0	0	0
Garis bawah 2	0	6	0	6

Susunan X dan Y pada daerah sebelah kiri dapat ditulis sebagai:

$$\frac{0}{0} \Big/ \frac{0}{6} \Big/ \frac{3}{12} \Big/ \frac{2,5}{8} \Big/ \frac{2}{0} \Big/ \frac{0}{0}$$, maka

2 Luas kiri = (0 + 18 + 30 + 16 + 0)
- (0 + 0 + 24 + 0 + 0)
= 64 - 24
= 40 m^2.

Susunan X dan Y pada daerah sebelah kanan dapat ditulis sebagai:

$$\frac{0}{0} \Big/ \frac{0}{6,0} \Big/ \frac{1,5}{10,0} \Big/ \frac{2,0}{0} \Big/ \frac{0}{0}$$, maka

2 Luas kanan = (0 + 9 + 20 + 0) - (0 + 0 + 0 + 0)
= 29 - 0
= 29 m^2

Dengan demikian luas penampang tersebut adalah setengah dari jumlah luas daerah kiri dan kanan, yaitu:

Luas penampang = 0,5 x (40 + 29)
= 34,5 m^2.

10.2.2.3. Hitungan luas berdasarkan potongan melintang

Apabila terdapat jarak atau tinggi dari suatu potongan terhadap pada potongan lain, maka dapat dihitung volume daripada daerah yang dibatasi oleh kedua potongan melintang tersebut.

Hitungan berdasarkan potongan melintang ini, dapat dilakukan dengan mengandalkan selang jarak antara potongan adalah w, kemiringan sisi yang dinyatakan dengan 1 dalam s.

Data yang masih diperlukan adalah:

a. ketinggian dari beberapa titik.

b. jumlah lebar d (total dari beberapa interval yang ada).

Sehingga apabila kedua hal ini diketahui, maka dapat dihitung volume seluruh galian dan timbunan tersebut.

Langkah pertama jelas menghitung c, dan hal ini bisa dihitung dengan menggunakan sipat datar umum, karena c adalah tinggi garis yang diinginkan. Perbedaan tinggi antara kedua level sepanjang

tinggi menengah atau tinggi pusat, dapat dilihat pada gambar di bawah ini.

Jadi masing-masing luas sendiri dapat dihitung seperti yang dilakukan pada bagian pertama, dengan sendirinya volume dapat dihitung dengan menggunakan aturan prisma Simpson dan sebagainya.

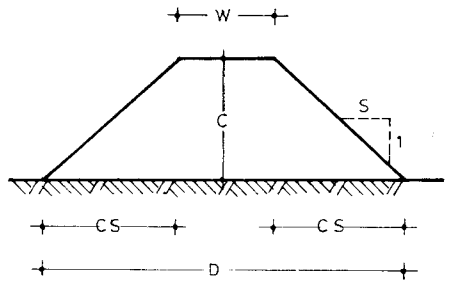
A. Potongan sederhana.

Cara yang paling umum dipakai adalah dengan menggunakan sipatan mendatar dari seksi yang bersangkutan, dilihat bentuk gambar di bawah ini.

Dari hubungan geometri pada gambar, terdapat hubungan sebagai berikut: Panjang alas atau D = cs + w + cs. w adalah sisi atas trapesium tersebut.

Dengan demikian luas bentuk tersebut adalah:

Luas = {0,5 x (D + w) } x c .....(10.16)



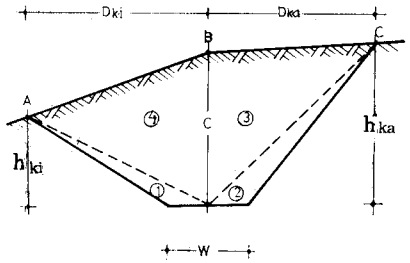
Gambar 10.14. Potongan sederhana.

B. Level tiga seksi

Untuk seksi tiga level, tinggi titik-titik A, B, dan C telah diketahui baik dari buku ukur ataupun dari hasil *plotting*, seperti yang telah ditunjukkan di bagian yang terdahulu. Data yang dapat dihitung adalah tinggi titik paling kanan (h_{ka}), tinggi garis menengah (c), tinggi titik paling kiri (h_{ki}), dan apabila kemiringannya 1 dalam s, maka:

$D_{ka} = (h_{ka} \times s) \times w/2$

$D_{ki} = (h_{ki} \times s) + w/2$ .....(10.17)



Gambar 10.15. Level tiga seksi.

Hal ini didapat karena D_{ka} maupun D_{ki} adalah jarak miring baik kekanan maupun ke kiri dari garis menengah. Demikian pula h_{ki} atau h_{ka} adalah tinggi ujung sisi kiri ataupun sisi kanan. Apabila titik A, B, dan C dihubungkan ke alas, dan juga ke tengah sisi alas, maka didapatkan empat segitiga, yaitu:

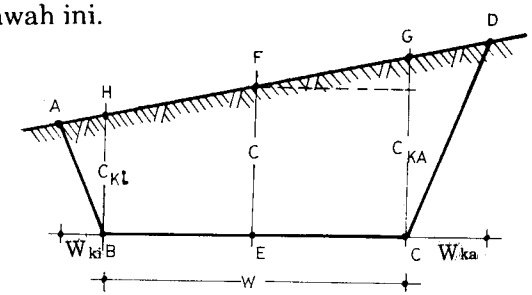
Luas segitiga ke 1 : $1/2 \cdot (w/2 \cdot h_{ki}) = (w \cdot h_{ki})/4$
Luas segitiga ke 2 : $1/2 \cdot (w/2 \cdot h_{ka}) = (w \cdot h_{ka})/4$
Luas segitiga ke 3 : $1/2 \cdot c \cdot D_{ka} = (c \cdot D_{ka})/2$
Luas segitiga ke 4 : $1/2 \cdot c \cdot D_{ki} = (c \cdot D_{KI})/2$

Sehingga jumlah luas potongan tersebut adalah:

$$\text{Luas} = \{w/4 \cdot (h_{ka} + h_{ki})\} + \{c/2 \cdot (D_{ka} + D_{ki})\} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (10.18)$$

C. Seksi dengan kemiringan tanah

Bentuk ke 3 adalah seksi dengan kemiringan yang diketahui, lihat gambar di bawah ini.



Gambar 10.16: Seksi dengan kemiringan diketahui.

Untuk menghitung luas potongan melintang tersebut diperlukan W_{ka} dan W_{ki}. Untuk maksud tersebut dapat dipakai prinsip konvergensi kemiringan. Apabila diperhatikan gambar di atas, maka

Kemiringan HA (ke arah bawah) dinyatakan dalam 1 : N, dan
Kemirngan BA (ke arah atas) dinyatakan dalam 1 : S.
Dari kedua kemiringan ini kedua garis tersebut dikatakan konvergen ke titik A, maka :

Laju konvergensi = $(1/S) + (1/N) = \{(N + S)/NS\}$, atau

$$C/W = \{(N + S)/NS\} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots 10.19$$

Contoh 10.13: Luas potongan yang miring

Lebar formasi: w = 8 meter,
Tinggi garis menengah c = 6 meter,
Kemiringan sisi = 1 : 1,5
Kemiringan potongan = 1 : 6.

Dari data tersebut didapat :
$C_{ka} = c + \{(1/6 \times 3\} = 6,5$ meter
$C_{ki} = c - \{(1/6 \times 3\} = 5,5$ meter

maka : $c_{ki}/w_{ki} = \{(N + S)/NS\}$
$= (6 + 1,5)/(6 \times 1,5)$,

karena $C_{ki} = 5,5$, maka $W_{ki} = (5,5 \times 9)/7,5 = 6,6$ meter.
Dengan cara yang sama dapat dihitung nilai W_{ka}, yaitu
$C_{ka}/W_{ka} = (N\text{-}S)/N)$
$= (6 - 1,5/(6 \times 1,5)$,
karena $C_{ka} = 6,5$, maka $W_{ka} = (6,5 \times 9)/4,5 = 13$ meter.

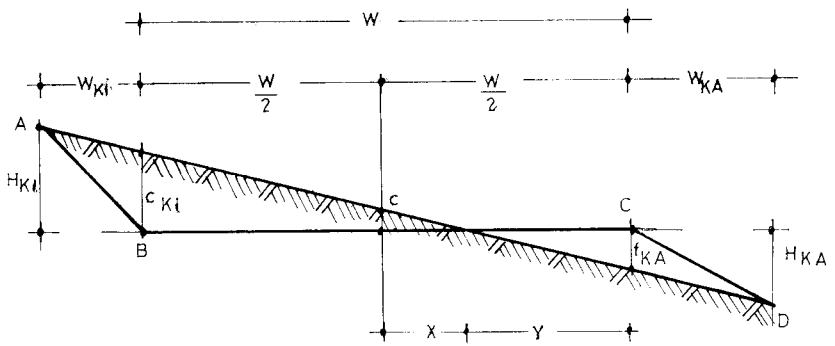
Dengan demikian dapat dihitung ketiga bagian luas yang ada, yaitu:

Luas trapesium HGCB = $(C_{ki} + C_{ka})/2 \times w$ = 48 m².
Luas segitiga ABH = $(C_{ki}/2) \times W_{ki}$ = 18,15 M², dan
Luas segitiga GCD = $(C_{ka}/2) \times W_{ka}$ = 42,25 m², maka

Luas dari potongan tersebut = 108,4 m².

D. Sisi perbukitan

Bentuk keempat adalah bentuk pemotongan dari sisi bukit, juga diketahui kemiringannya *(ground slope)*.



Gambar 10.17. Potongan sisi perbukitan

Contoh 10.14: Luas pada sisi bukit

Pada gambar terlihat data hasil pengamatan, yaitu:
lebar formasi = 25 m,
tinggi menengah : c = 0,5,
kemiringan sisi untuk galian = 1 : 1,
kemiringan untuk timbunan = 1 : 2,
kemiringan tanah = 1 : 6, maka:

c_{ki} = c + 0,2 x (w/2),
= 0,5 + (0,2 x 12,5)
= 3 meter.

Ujung daerah yang tidak dilakukan galian dan timbunan mempunyai jarak X meter dari garis menengah, yaitu:

X = 5 x c = 2,5 m, untuk kemiringan timbunan 1 : 2, maka Y = 5 m.

Penimbunan fr = (1/5) . y = 1 meter

Dengan prinsip konvergensi kemiringan dapat dihitung:

W_{ki} = { C_{ki} x (6 x 1)/ } (6-1) = (3 x 60/5
= 3,6 meter.
W_{ka} = { fr x (6 x 2)/ } (6 - 2) = (1 x 12)/4
= 3 meter.

Kemiringan galian adalah 1 : 1, maka h_{ki} = 3,6 meter.

Kemiringan penimbunan adalah 1 : 2, maka h_{ka} = 1,5 meter, maka

Luas yang digali atau luas segitiga ABE = 0,5 x (w/2 + X) x h_{ki}
= 0,5 x 15 x 3,6,
= 27 m^2.

Luas yang ditimbun atau luas segitiga ECD = 0,5 x Y x h_{ka}
= 0,5 x 5 x 1,5
= 3,75 m^2

10.3. Perhitungan isi

Hampir semua konstruksi di lapangan memerlukan pekerjaan galian dan timbunan, baik pekerjaan konstruksi jalan ataupun pembangunan besar lainnya. Pekerjaan konstruksi tersebut dapat dibedakan dua bentuk yang umum, yaitu:

a. bentuk sempit dan memanjang yaitu yang menyangkut galian dan timbunan seperti jalan raya dan saluran pengairan, dan
b. bentuk lebar misalnya bendungan, lapangan parkir, lapangan olahraga, dan lainnya.

10.3.1. Galian dan Timbunan

Untuk mendapatkan nilai isi galian dan timbunan ini, umumnya dilakukan pekerjaan *cross-section* atau potongan melintang tertentu, sepanjang garis tengah, yaitu *center line*. Luas potongan melintang dapat dihitung dengan menggunakan rumus-rumus yang telah diberikan pada bagian pertama, baik memakai rumus integral Simpson, prisma dan sebagainya.

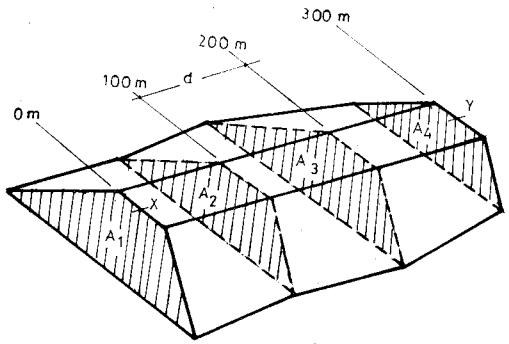
10.3.1.1. Hitungan isi cara Simpson

Dari keempat bentuk yang memanfaatkan potongan melintang: baik untuk bentuk sederhana, seksi tiga level, kemudian seksi dengan kemiringan diketahui, dan akhirnya sisi kemiringan bukit, maka selanjutnya hasil hitungan luas (volume). Hal ini dapat dilakukan baik dengan menggunakan rumus Simpson ataupun rumus prisma.

Perhitungan volume dengan metode Simpson, yaitu pekerjaan galian dan timbunan umumnya dilakukan berdasarkan potongan melintang, yang mempunyai interval yang sama, misalnya 100 m, atau 50 m. Demikian pula rentangan garis tengah juga belum tentu sama panjang, baik ke kiri maupun ke kanan, sehingga untuk setiap

potongan melintang yang dihasilkan akan didapatkan beberapa bentuk luas potongan melintang. Dengan sendirinya bentuk tersebut akan sesuai dengan keadaannya masing-masing. Sehingga luas potongan melintang yang satu belum tentu sama dengan luas potongan melintang yang lain.

Yang kedua umumnya diberikan bidang persamaan, yaitu hasil desain pada suatu rancang bangun konstruksi di atas ketinggian yang tertentu, sehingga dengan demikian mungkin terjadi galian dan timbunan. Galian terjadi apabila bidang persamaannya lebih tinggi dari profil yang ada. Timbunan yang lebih rendah dari profil yang ada, sedangkan timbunan yang terjadi apabila bidang persamaan lebih tinggi daripada profil yang ada. Apabila luas semua potongan melintang tersebut telah dihitung, maka dengan sendirinya volume pekerjaan tersebut akan segera pula didapat yaitu dengan menggunakan metode Simpson.



Gambar 10-17: Kelompok potongan

Isi = d/3 x { (luas profil pertama + luas profil terakhir)
+ 2 x profil nomor ganjil
+ 4 x profil nomor genap } ..... (10.20)

Contoh 10.15: Volume pekerjaan konstruksi

Ambil di bawah ini, lima (5) profil melintang dengan masing-masing luas tersendiri. Interval masing-masing potongan melintang adalah 100 m. Data hasil ukuran adalah sebagai berikut:

Jarak (d)	:	0	100	200	300	400
Tinggi menengah (c)	:	4,2	4,3	4,4	4,3	4,9

Lebar jalan yang akan dibangun = 6 meter, dan
Timbunan yang akan dilakukan misalnya dengan kemiringan 1 : 2,
Volume dapat dihitung sebagai berikut:

Lebar dasar timbunan = 6 +2c +2c
= 6 +4c,

Sehingga luas potongan melintang adalah:

Luas = [{ (6 + 5c) + 6} / 2] x c
= (6 + 2c) x c m^2, maka

Luas : pada titik 0,0 meter = (6 + 2 x 4,2) x 4,2 = 60,48 m^2
pada titik 100 meter = (6 + 2 x 4,3) x 4,3 = 62,78 m^2
pada titik 200 meter = (6 + 2 x 4,4) x 4,4 = 65,12 m^2
pada titik 300 meter = (6 + 2 x 4,3) x 4,3 = 62,78 m^2
pada titik 400 meter = (6 + 2 x 4,9) x 4,9 = 77,42 m^2

Sehingga dengan demikian sesuai dengan Simpson di atas, maka

Volume = (100/3) { 60,48 + 77,42 +
2 x (65,12) + 4 x (62,78 + 62,78) }
= 25679,33 m^3.

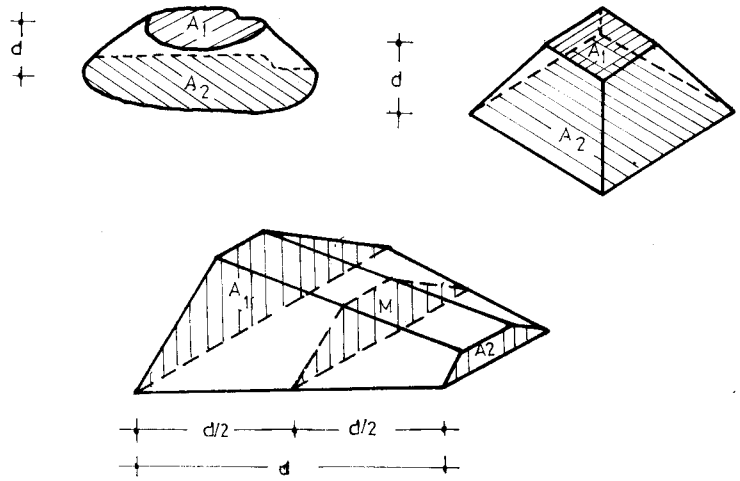
Patut diperhatikan D adalah interval, D dalam rumus Simpson adalah interval potongan yang ada, yaitu potongan melintang yang dibuat sesuai dengan rencana.

10.3.1.2. Hitungan isi cara prisma

Sebuah prisma didefinisikan sebagai sebuah bentuk padat *(solid)* yang mempunyai dua bidang paralel, baik dalam ukuran tertentu atau tak tentu bentuknya. Kedua permukaan ini dihubungkan oleh permukaan bidang ataupun lengkungan yang dari satu ujung ke lainnya, misalnya prisma. Lihat contoh di bawah ini, seandainya ingin ditentukan volume prisma tersebut, tapi apabila digunakan rumus Simpson, maka perlu membagi bentuk tersebut dalam bagian yang berjarak sama *(equidistant)*, dan juga mempunyai jumlah potongan melintang yang ganjil. Jadi jumlah minimum memenuhi persyaratan tersebut adalah tiga buah potongan.

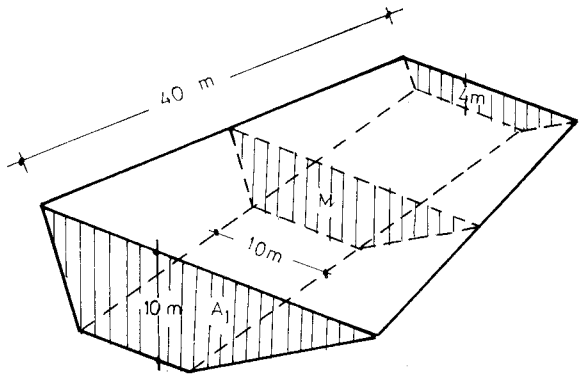
Menurut rumus Simpson:

Volume = (1/3) x (D/2) x {A1 + A2 + (2 x 0) + 4 M}
= (1/6) x D x (A1 + A2 + 4M) .....(10.21)



Gambar 10.19. Prisma terpancung.

Ini adalah cara Simpson yang digunakan pada prisma ini, sehingga dapat digunakan untuk menghitung sembarang prisma melintang dengan mempersiapkan terlebih dahulu luas M yaitu potongan melintang tengah dari bentuk prisma tersebut. Patut diperhatikan bahwa luas M belum tentu merupakan harga rata-rata dari luas potongan awal dan akhir.



Gambar 10.20. Galian memanjang.

Contoh 10.16: Bentuk yang memanjang

Panjang galian = 40 meter
lebar formasi = 10 meter
kedalaman pada awal = 10 meter
kedalaman pada akhir = 4 meter

Kemiringan sisi = 1:1, maka jika menggunakan rumus prisma harus dihitung luas potongan awal, potongan akhir dan potongan tengah, yaitu M.

Pada seksi pertama, yaitu A_1:
Lebar formasi = 10 meter
Lebar puncak = (10 +2c) meter
Kedalaman tengah c = 10 m, maka
Lebar puncak = (10 + 20)
= 30 meter

Pada seksi kedua, yaitu A_2, dengan cara yang sama didapatkan:

Lebar formasi = 10 meter
Lebar puncak = (10 + 2c) meter
Kedalaman tengah c = 4 meter, maka
Lebar puncak = (10 + 8)
= 18 meter

Pada seksi tengah M :
Lebar formasi = 10 meter
Lebar puncak = (10 + 2c) meter
Kedalaman tengah c = Rata-rata kedalaman tengah A_1 dan A_2
= 0,5 (10 + 4)
= 7 meter
Lebar puncak = 10 + 14 = 24 meter.

Luas ketiga potongan ini adalah:

Seksi Pertama : 1/2 x (10 + 30) x 10 = 200 m^2
Seksi Kedua : 1/2 x (10 + 18) x 4 = 56 m^2, dan
Seksi Menengah : 1/2 x (10 + 24) x 7 = 119 m^2, maka

Volume pekerjaan ini adalah:

Volume = (40/6) x [200 + 56 + (4 x 119)] m^3
= 4880 m^3

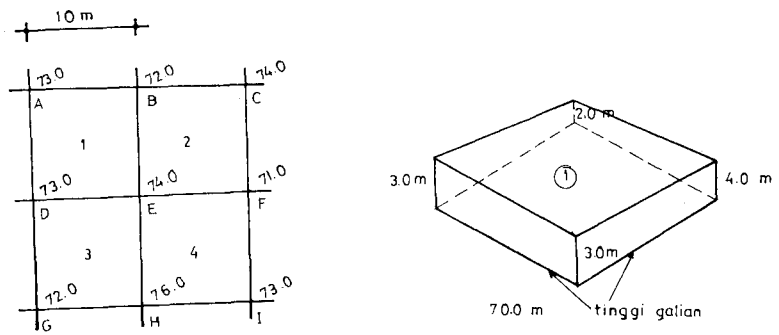
10.3.2. Volume Pekerjaan Besar

Demikianlah contoh yang dapat dilihat untuk pekerjaan hitungan volume dari bentuk pekerjaan kontruksi yang sempit dan memanjang untuk hitungan volume dari bentuk melebar, seperti yang dikatakan di muka, misalnya suatu area parkir mobil atau lapangan parkir atau lapangan olahraga. Hitungan dapat dilakukan melalui perhitungan titik-titik ketinggian atau perhitungan melalui kontur. Sehingga perlu dilakukan pekerjaan sipat datar luas, baik secara langsung ataupun tak langsung.

10.3.2.1. Volume dari titik tinggi

Dalam cara A yaitu volume dengan menghitung titik ketinggian, maka pengukuran yang dilakukan adalah ukuran sipat datar luas, yaitu sipat datar luas tak langsung dengan membuat patok-patok persil serta mengukur ketinggian titik sudut setiap persil.

Dari hal demikian sebenarnya dengan mudah dapat dilihat, bahwa setiap persil mempunyai 4 buah ketinggian, karena sebuah persil mempunyai 4 titik sudut. Apabila luas permukaan diketahui, maka volume suatu persil adalah perkalian dari harga rata-rata ketinggian titik sudut dengan luas permukaan yang ada. Jadi volume setiap prisma adalah ketinggian rata-rata x luas dasarnya.



Gambar 10.21. Ketinggian sistem grid.

Contoh 10.17: Volume dari sebaran titik tinggi

Suatu daerah dengan ketinggian titik-titik sudut, seperti yang tercantum pada gambar yang bersangkutan, dan juga diketahui lebar dan panjang dari masing-masing prisma, maka:

Ketinggian rata-rata dari masing-masing prisma adalah,
pertama : 2 meter
kedua : 3 meter
ketiga : 2 meter
keempat : 2 meter

Harga ini didapatkan di atas tinggi bidang persamaan = 70 m.

Sehingga masing-masing titik sudut, umpamanya prisma pertama mempunyai ketinggian 1, 3, 2 dan 2 m terhadap bidang persamaan.

Luas dasar prisma = 10 x 10 = 100 m^2.

Maka volume masing-masing prisma yaitu luas dasar dikalikan dengan tinggi rata-rata.
Volume : prisma pertama = 300 m^3
prisma kedua = 275 m^3
prisma ketiga = 375 m^3, dan
prisma keempat = 350 m^3

Sehingga jumlah volume = 1200 m^3.

Dari data di atas juga dapat dilakukan perhitungan langsung, yaitu dengan menghitung tinggi rata-rata dari seluruh permukaan terhadap bidang persamaan yang diberikan. Tadi sudah didapatkan tinggi rata-rata prisma dari seluruh permukaan terhadap bidang persamaannya, yaitu:

Tinggi rata-rata = (3 + 2,75 + 3,75 + 3,5) : 4.

Alas dapat segera diketahui karena memang bentuknya sudah teratur, yaitu lebarnya 20 dan panjangnya 20, dengan demikian:

Volume = 400 x 3,25 = 1300 m^3.

Perhitungan di atas dapat dibuat lebih mudah lagi dengan membuat tabel seperti yang terlihat di bawah ini. Kolom pertama adalah titik sudut masing-masing prisma, kolom kedua berisikan tinggi titik tersebut terhadap bidang persamaan, kolom ketiga jumlah pemakaian

titik sudut itu, (maksudnya pemakaian adalah dipakai sebanyak berapa kali, sebanyak berapa prisma), misalnya titik B hanya dipakai prisma 1 dan prisma 2, tapi titik E dipakai oleh prisma 1,2,3 dan 4. Kolom keempat merupakan kolom perkalian, hasil perkalian dari jumlah pemakaian titik sudut dengan ketinggian titik sudut yang bersangkutan.

Titik	Tinggi Grid	Jumlah formasi	Perkalian Pemakaian
A	3,0	1	3,0
B	2,0	2	40
C	4,0	1	4,0
D	3,0	2	6,0
E	4,0	4	16,0
F	1,0	2	2,0
G	2,0	1	2,0
H	6,0	2	12,0
I	3,0	1	3,0
		16	52,0

Apabila jumlah pemakaian titik sudut dijumlahkan dan perkalian-nya juga dijumlahkan, maka didapatkan tinggi rata-rata permukaan tersebut terhadap bidang persamaan.

Kedalaman galian rata-rata = 52/16 = 3,25.
Jumlah luas daerah = 20 x 20 = 400 m^2, maka
Isi daerah tersebut = 3,25 x 400 = 1300 m^3.

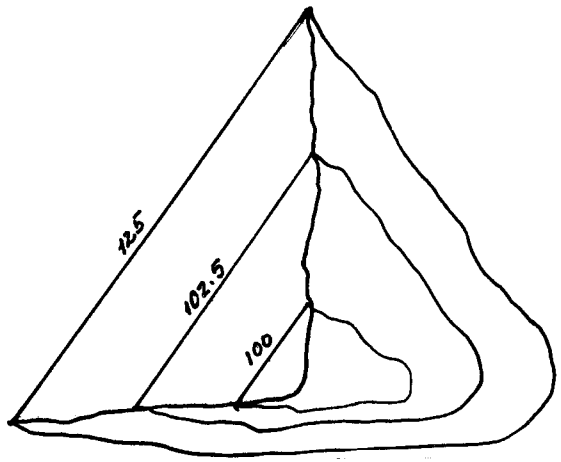
10.2.2.2. Volume garis kontur.

Cara kedua untuk menghitung daerah yang luas ini adalah dengan menggunakan kontur. Setelah diperhatikan ternyata bentuk kontur tersebut mirip dengan bentuk prisma. Sehingga diandaikan bahwa bidang yang dibentuk oleh sepasang kontur merupakan potongan-potongan yang ada dalam perhitungan di muka. Sehingga volume suatu daerah dapat dihitung dengan menggunakan rumus prisma dengan mengambil 3 bidang kontur. Dengan mengandaikannya sebagai bidang pertama, bidang tengah dan bidang akhir, maka luas daerah yang dibatasi oleh kontur yang ada didapat melalui perhitungan planimeter. Jadi hasil pengeplotan itu dihitung luas dari masing-masing daerah yang dicakup oleh kontur tertentu. Kontur pertama, kedua dan ketiga, merupakan satu set perhitungan yang akan menghasilkan volume kedua lapisan tersebut, yaitu dibatasi

oleh lapisan pertama dan ketiga. Maka kita dapatkan untuk kedua lapisan tersebut :

Volume = (2H/6) x (A1 + 4A2 + A3), kalau naik lagi maka selanjutnya didapatkan persamaan lain, yaitu Volume = (2H/6) x (A3 + 4A4 + A5). Kalau dijumlahkan, kedua volume lapisan kontur ini akan didapatkan bahwa penjumlahannya adalah

Volume total = (H/3) x { A1 + A5 + 2A3 + 4 x (A2 + A4) } . **(10.22)**



Gambar 10.22. Galian berdasarkan **kontur.**

Rumus di atas sangat mirip dengan rumus Simpson yang umum, yaitu luas potongan awal ditambah luas potongan akhir ditambah dua kali potongan ganjil ditambah jumlah empat kali potongan genap. Sehingga yang mudah kita dapat menghitung volume tersebut.

Contoh 10.18: Volume garis kontur

Seandainya akan dibuat sesuatu denah yang mencoba menghitung jumlah air yang dapat disimpan dalam sebuah reservoir.
Daerah tersebut mempunyai kedalaman = 26,5 m. Informasi yang tersedia lainnya adalah nilai kontur adalah 125 meter, apabila reservoir tersebut penuh berisi air. Luas daerah yang dicakup oleh ketiga kontur adalah sebagai berikut:

Kontur	:	125 m	112,5 m	100 m
Luas	:	500.000 m^2,	50.000 m^2	1000 m^2.

Volume di antara kontur 100 maka kontur 125 atau ketinggian 125 m dengan ketinggian 100 m adalah :

Volume I $= \frac{25}{6} \times [\, 500.000 + 4\,(50.000) + 1000\,]$

$= 2920.833{,}33\ m^3$.

Kedalaman reservoir = 26,5 m , maka
Kedalaman di bawah kontur 100 = 1,5 m.

Volume di antara kontur 100 dengan bagian dasar reservoir tersebut, adalah :

Volume II $= \frac{1}{3} \times 1000 \times 1{,}5\ m,$

$= 500\ m^3$.

Jadi isi reservoir $= 2920.833{,}33\ m^3 + 500\ m^3$

$= 2.921333{,}33\ m^3$.

10.4. Rangkuman 10

Pekerjaan konstruksi yang bertalian dengan jalan, saluran dan reservoir, bahkan semua yang berhubungan dengan galian dan timbunan, pada dasarnya dimulai dengan pekerjaan pengukuran beda tinggi yang terdapat di atas permukaan yang bersangkutan. Oleh sebab itu perhitungan luas dan isi ini banyak berhubungan dengan pekerjaan pengukuran sipat datar profil ataupun sipat datar luas. Dari hasil kedua pekerjaan pengukuran tersebut selanjutnya dibuatkan rancangan pekerjaan konstruksi yang dimaksud, lengkap dengan bidang persamaan yang menyiratkan lebar formasi bentuk konstruksi yang akan dibangun nantinya.

Dari hasil rancangan, di atas peta tersebut selanjutnya dihitung luas masing-masing bentuk potongan yang dimaksud. Banyaknya potongan dengan sendirinya sesuai dengan rencana, namun jarak antara bentuk yang satu dengan yang selanjutnya umumnya dibuat sama. Hal ini terlihat pada pekerjaan profil melintang selalu jarak dibuat dengan selang yang sama, kecuali pada belokan ataupun akhir pekerjaan. Untuk setiap potongan dapat dihasilkan paling tidak satu bentuk galian atau timbunan. Hitungan luas dari bentuk tersebut dapat dilakukan dengan berbagai cara, baik dengan lembar grid, cara Simpson, bujur ganda dan planimeter.

Dari hasil hitungan luas tersebut selanjutnya hitungan dapat dilanjutkan untuk mendapatkan isi dari suatu bentuk 3 dimensi. Pada kesempatan ini, juga terdapat beberapa cara, seperti metoda Simpson, atau cara prisma terpancung.

Dalam berbagai contoh telah ditunjukkan penggunaan tata cara berhitung luas dan isi yang dimodifikasi sesuai dengan pekerjaan konstruksi yang dilakukan. Pekerjaan volume yang besar selalu berkaitan antar beberapa disiplin ilmu, seperti pembuatan *hidro-power* dengan penyediaan *reservoir* yang memadai serta disiplin ilmu lainnya.

10.5. Latihan 10

1. Segitiga adalah bentuk geometri yang paling sederhana dan dapat dihitung luasnya secara matematis dengan tepat. Beberapa rumus yang dapat dipakai adalah seperti di bawah ini, *kecuali :*
   a. 0,5 x alas x tinggi
   b. 0,5 x proyeksi x jarak puncak
   c. $\sqrt{\{ s (s-a) (s-b) (s-c) \}}$
   d. 0,5 x jarak proyeksi x tinggi

2. Offset sebuah sisi daerah pemetaan sering dilakukan terhadap sisi segitiga. Segitiga ini adalah yang paling besar yang mewakili hampir seluruh luas wilayah yang bersangkutan. Panjang selang offset dapat dilakukan sembarang apabila bentuk batas daerah pengukuran:
   a. tak menentu
   b. melengkung tak tentu
   c. patah tak menentu
   d. melengkung tentu

3. Lain halnya dengan batas daerah pemetaan yang tidak ekstrim berbeda, maka selang offset sebaiknya diambil sama panjang. Hal ini dilakukan karena:
   a. terdapat rumus Simpson
   b. lebih mudah diukur
   c. lebih mudah dihitung
   d. terdapat rumus bujur ganda

4. Perhitungan luas dengan metoda yang berbeda ternyata memberikan hasil yang berbeda pula. Dari keempat metoda tersebut yang paling teliti adalah:
   a. metoda langsung offset
   b. metoda bujur ganda
   c. metoda planimetris
   d. metoda Simpson

5. Perhitungan cara luas bujur ganda dapat diformulasikan dengan baik, namun membutuhkan keteraturan koleksi titik-titik yang diikutsertakan dalam perhitungan. Di samping itu terhadap tinggi tengah keteraturan tersebut mempunyai arah yang bertolak belakang. Untuk belahan kiri, maka putaran koleksi selalu:
   a. berlawanan dengan jarum jam
   b. searah dengan jarum jam
   c. sembarang
   d. tak ada yang benar

6. Planimeter adalah alat yang juga dapat melakukan perhitungan di atas peta, yaitu dengan membaca banyaknya putaran dan memperbanyaknya dengan indeks skala yang tertentu pula. Apabila monitor *tracking* membuat sebuah lingkaran, maka perhitungan luas harus:
   a. menambah dengan konstanta nol
   b. mengurangi dengan konstanta nol
   c. memperbanyaknya
   d. tak ada yang benar

7. Perhitungan luas pada Seksi tiga level pada hakekatnya menggunakan prinsip geometri sederhana dari:
   a. trapesium
   b. segitiga
   c. prisma
   d. tak ada yang benar

8. Perhitungan isi selalu dikaitkan dengan galian dan timbunan. Kedua pekerjaan ini diawali dengan pengukuran sipat datar. Pada pengukuran sipat datar telah dibagi seksi pengukuran menjadi potongan-potongan tertentu. Hal ini mengingat:
   a. panjangnya jalan
   b. lebarnya jalan
   c. perhitungan isi
   d. rumus yang dipakai

9. Perhitungan isi selalu didahului oleh perhitungan luas pada potongan melintang ataupun bidang kontur yang tersedia. Jika jumlah bidang luas tersebut genap, maka:
   a. metoda Simpson tidak dapat dipakai
   b. disisipkan satu bidang antara
   c. dihitung saja satu persatu
   d. semua benar.

10. Sisipan bidang antara dilakukan, karena:
    a. bentuk prisma
    b. rumus Simpson
    d. jumlah bidang genap
    d. jumlah bidang ganjil.

11. Perhitungan isi berdasarkan hasil pengukuran sipat datar luas yang dilakukan secara langsung berkaitan dengan pelaksanaan hitungan yang memanfaatkan keadaan di bawah ini, *kecuali:*
    a. kelompok prisma teratur
    b. kedalaman yang sama
    c. luas yang sama
    d. sisi yang sama

12. Perhitungan volume dengan menggunakan garis kontur berasal dari pengukuran sipat datar luas yang menghasilkan garis kontur yang diinginkan. Perhitungan isi dari beberapa kontur dilakukan berurutan untuk setiap pasang garis kontur. Namun perhitungan luasnya dilakukan dengan :
    a. planimeter
    b. metoda Simpson
    b. metoda bujur ganda
    d. prisma

13. Perhitungan isi pada dasarnya didapat dengan memperbanyak tinggi terhadap luas suatu bentuk. Pada waduk yang telah ditentukan garis konturnya, maka volume air dapat dikaitkan dengan tinggi permukaan air yang tersedia di dalamnya. Hal ini dilakukan dengan:
    a. ekstrapolasi ketinggian
    b. interpolasi ketinggian
    c. perjumlahan
    d. pengurangan

BAB XI
PEMETAAN LENGKUNGAN

11.1. Pendahuluan

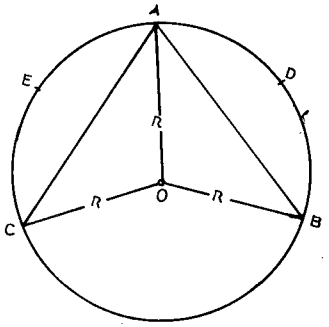
Pemetaan ini adalah pemetaan jenis kedua, yang bertujuan untuk meletakkan kembali semua rencana atau rancangan yang telah digambar di atas peta tahap pertama ke permukaan tanah. Jadi geometri lengkungan yang dibuat di atas peta dari daerah yang bersangkutan akan ditransformasikan kembali ke atas permukaan tanah. Pemetaan lengkungan ini banyak berkaitan dengan pekerjaan konstruksi jalan ataupun saluran, sehingga dengan sendirinya pelaksanaan pematokan *(stake out)* di lapangan (bab kedua belas), sangat mirip dengan pekerjaan yang akan dibahas pada bab ini.

Namun karena bentuknya yang khusus, maka terdapat beberapa persyaratan yang patut dipenuhi terlebih dahulu. Di samping itu juga terdapat beberapa teknik yang berbeda dalam pematokan titik-titik hasil desain tersebut. Apabila diperhatikan desain lengkungan, maka terdapat jenis lengkungan vertikal ataupun lengkungan horizontal. Lengkungan vertikal dengan sendirinya berkaitan dengan daerah menurun dan tanjakan, sedangkan lengkungan horizontal akan selalu menyiratkan belokan dari suatu pekerjaan konstruksi. Walau bagaimanapun bentuk geometri yang akan dikerjakan, semuanya pasti membutuhkan teorema-teorema geometri yang jelas. Sehingga patut untuk terlebih dahulu mengkaji masalah geometri lengkungan tersebut.

Pada bagian selanjutnya akan dibahas elemen lengkungan, disusul dengan desain lengkungan disertai dengan masalah-masalah yang terdapat dalam pemetaan lengkungan tersebut dan pelaksanaannya. Bagian ini akan membahas pematokan yang diperlukan bagi lengkungan tersebut. Sebelum seluruh pembahasan diakhiri, maka masalah yang terdapat di sekitar lengkungan vertikal akan dibahas secara khusus.

11.1.1. Geometri Lengkungan

Apabila diperhatikan sebuah lingkaran dengan titik pusat 0 dan pada busur lingkaran tersebut terdapat tiga buah titik, yaitu A, B dan C, maka sudut α adalah sudut yang dibentuk oleh titik A, O dan C. Artinya sudut sama besar dengan panjang busur AC. Demikian pula sudut θ yang dibentuk oleh AOB sama besar dengan busur AB. Perlu diperhatikan di sini,



Gambar 11.1. Lengkung Lingkaran.

bahwa terdapat perbedaan antara busur AC dengan tali busur AC, demikian pula perbedaan di antara busur AB dengan tali busur AB. Untuk selanjutnya busur AB disebut dengan busur ADB, yaitu sebuah titik D di antara busur AB, dan busur AC dinamakan busur AEC yaitu dengan titik E di antara A dan C. Panjang kedua busur ini dapat dinyatakan dengan sudut pada pusat lingkarannya, yaitu sudut α dan θ.

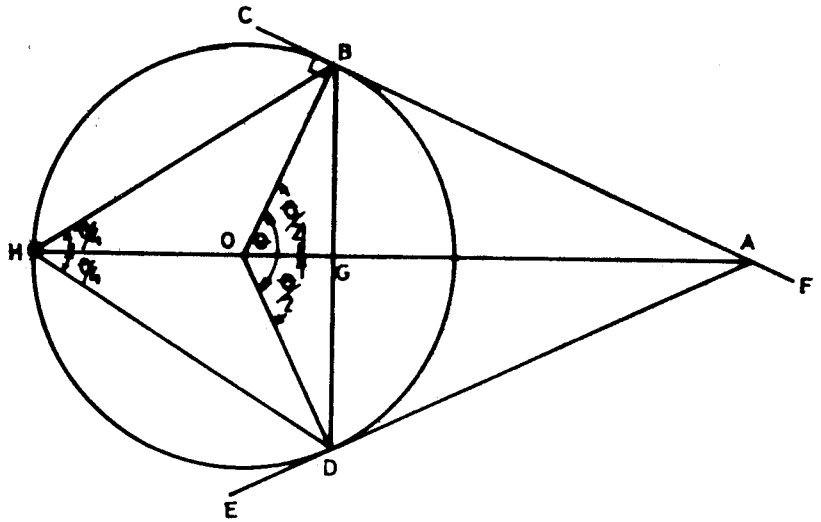
Busur ADB = $2 \pi \times r \times \theta/360^0$, dan)
) ..... (11.1)
Busur AEC = $2 \pi \times r \times \theta/360^0$.)

Apabila sudut α dan sudut θ dinyatakan dengan satuan radian, jari-jari dinyatakan dengan r, maka:

Panjang busur ADB = $r \times \theta$, dan)
) ..... (11.2)
panjang busur AEC = $r \times \alpha$.)

Sekarang perhatikan gambar 12-2 yang menunjukkan sebuah lengkungan lingkaran dengan garis singgung pada titik B dan D, kedua garis singgung tersebut berpotongan di titik A. Dengan kata lain CBA dan garis EDA berpotongan di titik A, dan AD = AB. Demikian juga sudut ABO = sudut ADO yaitu, sudut siku-siku.

Segiempat ABOD adalah segiempat siku-siku, dengan:
Jumlah sudut ABO + sudut ADO = 180^0, sehingga
Sudut BOD + sudut BAD = 180^0, dan ini berarti:
Sudut FAD = sudut BOD = θ.



Gambar 11.2. Geometri lengkungan.

Garis hubung OA adalah garis tegak lurus BD dan membagi dua busur BD sama besar, sehingga:

sudut BOG = sudut DOG = θ/2
sudut ABG + sudut GBO = 90^0
sudut BOG + sudut GBO = 90^0, jadi
sudut ABG = sudut BOG = θ/2

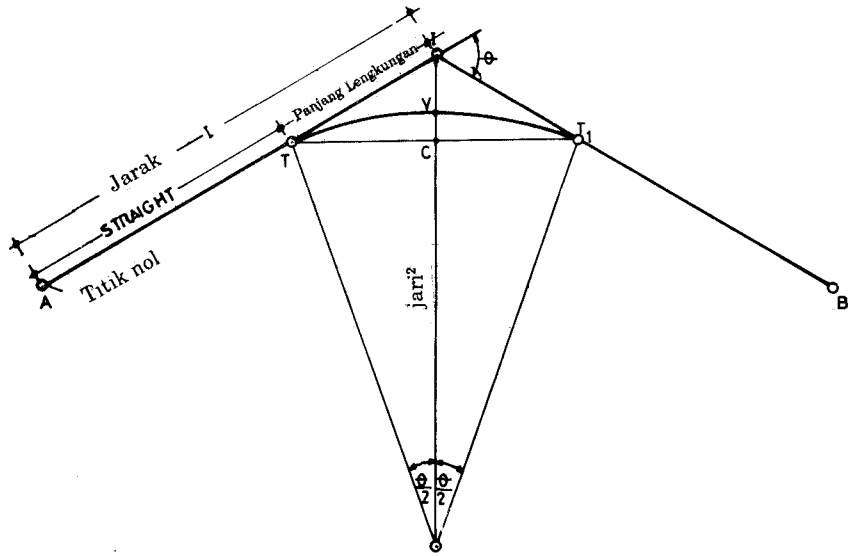
Perpanjangan OA akan memotong lingkaran pada titik H dan bila dihubungkan akan terdapat garis HB dan HD. Sudut BOG adalah sudut luar dari segitiga DOH, maka:

Sudut BOG = sudut OHB + sudut OBH, tetapi
Sudut OHB = sudut OBH karena segitiga BOH adalah sama kaki, maka

Sudut OHB = 1/2 sudut BOG = θ/4, Demikian pula
Sudut OHD = θ/4, maka sudut BHD = θ/2.

11.1.2. Unsur-Unsur Lengkungan

Apabila diperhatikan lebih lanjut sebuah lengkungan dari sebuah jalan. Dari masing-masing arah jalan tersebut dapat ditarik sebuah garis lurus, yang selanjutnya disebut garis pelurus, dan kedua garis pelurus ini berpotongan di sebuah titik. Ambil awal dari sebuah lengkungan masing-masing titik A dan titik B, sehingga garis penghubungnya adalah AI dan IB. Titik I selanjutnya disebut sebagai titik potong.



Gambar 11.3. Hitungan unsur lengkungan

Kedua garis pelurus ini berdeviasi sebesar sudut θ dan sudut ini disebut sudut deviasi atau sudut defleksi atau sudut potong. Untuk suatu perencanaan dengan sendirinya titik I bukanlah suatu belokan yang ideal, tetapi akan diusahakan sebuah lengkungan yang dimulai dari sepasang titik.

Masing-masing pada pelurus AI maupun pelurus BI, terdapat titik T dan T_1, panjangnya dinyatakan dengan IT dan IT_1 dan disebut

sebagai panjang garis singgung yang jaraknya adalah sama. Sebelum melakukan pematokan lengkungan ini di lapangan, maka posisi titik singgung harus diketahui terlebih dahulu. Pada pelaksanaannya, maka pengukuran sudut deviasi diukur bersama dengan panjang garis pelurus AI dan IB. Panjang tersebut dimulai dari titik nol jarak, yaitu jarak yang mulai diukur dari titik A. Jari-jari R umumnya merupakan kelipatan 50 meter, dan ini biasanya ditentukan oleh para perencana. Dengan mengetahui sudut deviasi dan jari-jari lengkungan, maka jarak titik singgung dan panjang lengkungan dapat diturunkan.

Sudut ITO = sudut $OT_1I = 90^0$, maka
$ITOT_1$ adalah segiempat siku-siku, sehingga sudut $TOT_1 = \theta$.
Apabila titik I dihubungkan dengan 0, maka:
Sudut TOI = sudut $IOT_1 = \theta/2$.

a. Panjang garis singgung IT dan IT_1.
Dalam segi tiga ITO : $IT/r = IT_1/r = tg\ \theta/2$, maka
$IT = IT_1 = r\ tg\ \theta/2$ ..... (11.3)

b. Panjang lengkungan TT_1.
Lengkungan $TT_1 = r \times \theta$ radian)
) ..... (11.4)
Panjang TT_1 = Panjang T + panjang lengkungan.)

Perhatikan pengukuran jarak dari titik singgung kedua ini, selalu diturunkan melalui lengkungan. Dengan informasi ini maka awal dan akhir lengkungan tersebut dapat dipetakan.

Contoh 11.1. Unsur lingkungan 1

Lihat gambar 11.3. Sudut jurusan dan panjang dari AI dan IB masing-masing adalah sbb : sudut jurusan $\alpha_{AI} = 20^0$, panjang $d_{AI} = 450{,}3$ m.
sudut jurusan $\alpha_{IB} = 70^0$, panjang $d_{IB} = 2075$ m.
Jari-jari lengkungan yang menghubungkan kedua pelurus:
r = 300 meter, maka jarak dari titik singgung dapat dihitung.
Sudut deviasi = $70^0 - 20^0 = 50^0$; Jarak I = 450,3, maka:
panjang garis singgung IT = r tg θ/2 = 300 tg 25^0 = 139,89 m.
Jarak T = 450,3 - 139,89 = 310,41 m
Panjang lengkungan = r x θ radian = 300 x 0,87266 = 261,8 m
Jarak T_1 = 310,41 + 261,8
= 572,21 meter

c. Tali busur TT_1.

Tali busur TT_1 adalah garis lurus yang menghubungkan titik singgung T dan T_1. Garis IO adalah tegak lurus dan membagi dua TT_1 pada titik C. Dalam segitiga TCO.

$TC = r \times \sin \theta/2$, maka : $TT_1 = 2\ r \times \sin \theta/2$.....(11.5)

d. Panjang tembereng CV.

Tembereng juga disebut sebagai ordinat tengah dan panjang CV adalah jarak sepanjang jari-jari, yaitu r - OC.

Dalam segi tiga TCO didapat hubungan;

$CO/r = \cos \theta/2$, maka
$CO = r \times \cos \theta/2$, sehingga
$CV = r - r \times \cos \theta/2$, atau
) (11.6)
$= r \times (1 - \cos \theta/2)$

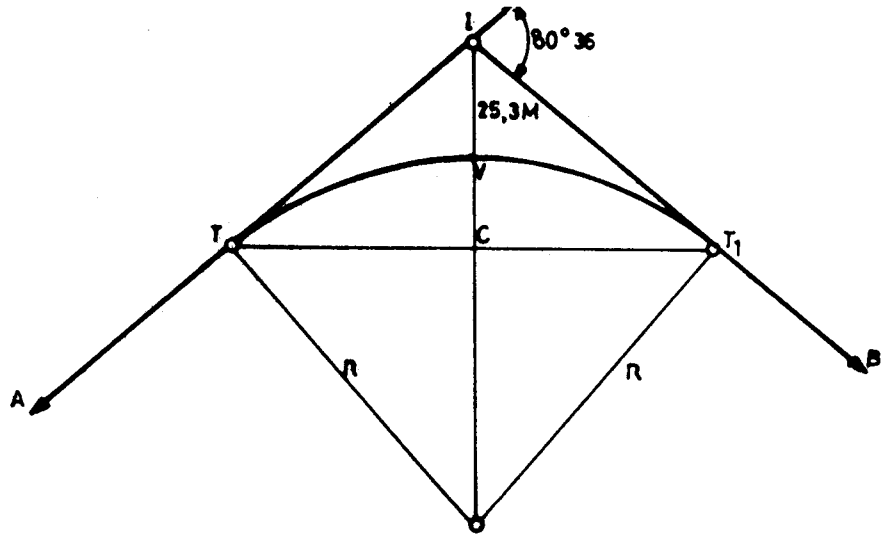
e. Jarak luar VI.

Panjang VI adalah panjang yang paling pendek, yaitu yang didapat dari titik potong ke lengkungan.

VI = IO - r,
Dalam segi tiga ITO, didapat hubungan

$IO/r = \sec \theta/2$, maka $IO = r \sec \theta/2$, sehingga

$VI = r \times \sec \theta/2 - r = r \times (\sec \theta/2 - 1)$.....(11.7)



Gambar 11.4. Unsur lengkungan lainnya.

Contoh 11.2.

Dua buah pelurus AI dan IB berdeviasi sebesar 80° 36'. Kedua pelurus tersebut akan dihubungkan oleh sebuah lengkungan lingkaran dengan jarak terpendek antara lengkungan dan titik potong sebesar 25,3 meter.

Hitunglah : jari-jari lengkungan, panjang tali busur dan tembereng.

Pemecahan : Jarak terpendek dari I ke lengkungan dinyatakan dengan VI, dan

$VI = r \times (\sec \theta/2 - 1) = 25,3 = r (\sec 40° 18' - 1)$
$= r \times (1,311186 - 1)$, maka

1. Jari-jari lengkungan : r = (25,3/0,311186)
   = 81,30 meter.
2. Panjang tali busur : TT_1 = $2r \times \sin \theta/2$
   = $162,6 \times \sin 40° 18'$
   = $162,6 \times 0,64679$
   = 105,17 meter.
3. Panjang tembereng : VC = $r \times (1 - \cos \theta/2)$
   = $81,3 \times (1 - 0,762668)$
   = $81,3 \times 0,237332$
   = 19,3 meter.

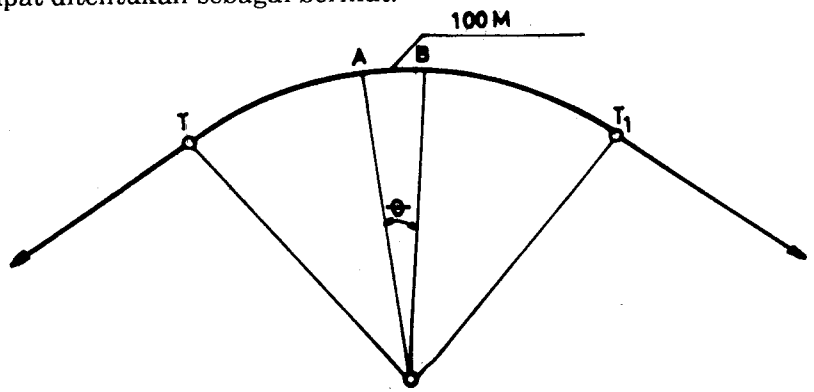
11.2. Desain Lengkungan

Untuk pelaksanaan pekerjaan konstruksi terdapat dua jenis lengkungan yang memiliki dasar penyelenggaraan yang berbeda. Lengkungan horizontal yang berkaitan dengan belokan jalan ataupun saluran menggunakan lingkaran sebagai basis penyelenggaraannya, sedangkan tanjakan serta turunan memilih parabola sebagai bentuk geometri yang diacu. Dengan sendirinya pembahasan dari kedua kerja konstruksi lengkungan ini dipisahkan menjadi dua bagian yang berdiri sendiri-sendiri.

11.2.1. Lengkungan Horizontal

Di beberapa tempat desain sebuah lengkungan dinyatakan oleh panjang jari-jari. Umumnya jari-jari tersebut mempunyai panjang kelipatan 50 m. Namun lengkungan juga dapat didesain melalui derajat kelengkungan yang dinyatakan sebagai jumlah derajat yang berada di pusat lengkungan, sesuai dengan panjang busur yang bersangkutan. Umumnya panjang busur tersebut adalah 100 m.

Derajat kelengkungan umumnya dinyatakan dalam derajat penuh, misalnya 5^0. Hubungan di antara jari-jari dan derajat kelengkungan dapat ditentukan sebagai berikut.



Gambar 11.5. Desain lengkungan horizontal.

Dari gambar dilihat bahwa :

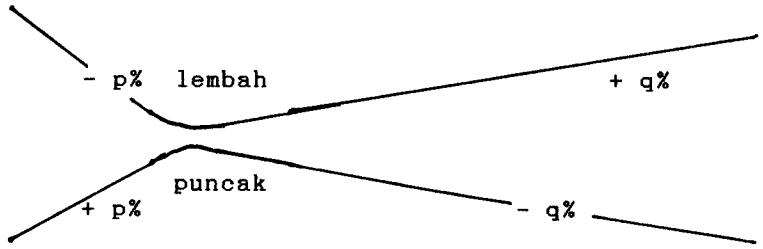
Panjang busur AB = r x θ radian
= r x θ x $57,3^0$, maka

Jari-jari r = 100 x $57,3/5^0$
= 1145,96 meter.

11.2.2. Lengkungan Vertikal

Sebagaimana diketahui pada setiap pekerjaan konstruksi jalan selalu ditemukan tanjakan *(gradient)*ataupun turunan yang kalau dilihat potongan memanjangnya tak lain adalah lengkungan yang vertikal. Salah satu syarat untuk dapat membuat jalan tersebut mempunyai perubahan yang mulus dari suatu tanjakan ke tanjakan lainnya adalah dengan menentukan lengkungan penghubung dari kedua tanjakan tersebut. Apabila sepasang tanjakan berbentuk bukit, maka lengkungannya disebut lengkungan puncak dan kalau berbentuk suatu lembah maka disebut lengkungan lembah.

Tanjakan umumnya dinyatakan dengan perbandingan dalam prosentase kemiringannya, misalnya suatu tanjakan 1 : 50 adalah tanjakan dengan kenaikan 2%. Artinya tanjakan itu naik atau turun 2 satuan untuk setiap 100 satuan. Tanda + menyatakan naik dan tanda — menyatakan tanjakan yang turun.



Gambar 11.6. Lengkungan vertikal.

Karena perubahan gradien untuk sebuah kemiringan lengkungan harus memenuhi persyaratan kemulusan dan mempunyai graduasi yang baik, maka umumnya yang dipilih adalah lengkungan parabolik. Hal ini juga disebabkan karena umumnya bentuk lengkungan seperti ini mempunyai kedataran yang baik pada titik singgung sehingga perhitungannya menjadi sangat sederhana.

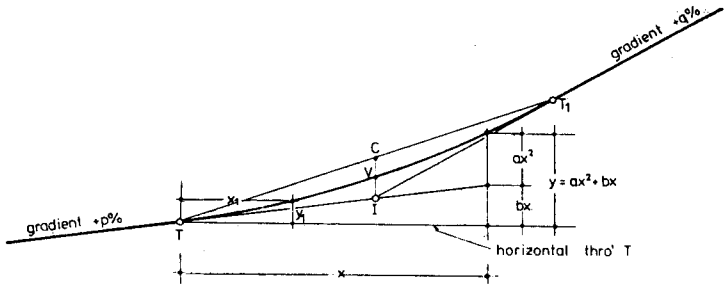
Bentuk matematis dari lengkungan ini adalah

$$y = ax^2 + bx, \quad \text{..... (11.8)}$$

y = ketinggian (jarak vertikal) dari lengkungan, di atas atau di bawah titik singgung pertama pada jarak x,

x = jarak yang bervariasi dan menyatakan jarak mendatar dari kedua titik singgung.

Sehingga dapat dikatakan offset vertikal dari y haruslah berbentuk sudut tumpul terhadap tanjakan, namun semua jarak tersebut dapat pula dinyatakan dalam x dan y sehingga pekerjaan menjadi lebih mudah dilakukan. Beberapa batasan parabola sederhana adalah (seperti yang terlihat dalam gambar di bawah ini):



Gambar 11.7. Lengkungan parabola sederhana.

a. Jarak dari T ke T_1 baik yang diukur sepanjang lengkungan TT_1, garis singgung TIT_1, ataupun sepanjang tali busur TT_1 hampir sama panjang, sehingga selanjutnya dapat dianggap sama panjang.
b. Titik potong I berada tepat di tengah jarak antara titik T dan T_1 sehingga jarak IT dan IT_1 adalah sama sehingga parabola ini sering disebut parabola singgung.
c. Tinggi IV disebut sebagai koreksi tanjakan dan sama dengan tinggi VC atau parabola membagi dua panjang CI sama besar.

11.3. Rangkuman 11

Bagian ini memang sengaja diperkenalkan sebagai bahan dasar untuk mempelajari ilmu survai dan pengukuran yang lebih lanjut, seperti Route Survey ataupun Survai Teknik Sipil yang tersedia di program S1 Geodesi ataupun S2 Jalan Raya.

Desain lengkungan suatu pekerjaan konstruksi selalu dipakai dalam mendapatkan sebuah belokan ataupun tanjakan yang akan memberikan kenyamanan dan keamanan bagi pengendara. Berbagai faktor sosial dan manusia diikutsertakan dalam menentukan bentuk suatu lengkungan, namun semuanya itu akhirnya dinyatakan dengan beberapa unsur geometri lengkungan baik lengkungan horizontal maupun lengkungan vertikal. Beberapa dimensi lengkungan yang selalu harus ditentukan adalah jarak titik singgung, panjang lengkungan, tali busur, tembereng, jarak dalam, jari-jari, titik potong bahkan sudut jurusan dari masing-masing pelurus. Semua penurunan rumus sederhana diikuti dengan beberapa contoh kecil telah terurai di atas.

Desain matematis dari lengkungan horizontal yang didasari oleh geometri lingkaran dan lengkungan vertikal mengacu kepada geometri parabola, semuanya diuraikan dengan sederhana. Bentuk lengkungan yang pelik seperti spiral ataupun lengkungan majemuk, lengkungan berbalikan *(reverse curve)* tidak disinggung dalam bab ini. Hal ini memang disengaja agar tujuan mengenai pengertian pengukuran dan pemetaan tetap besar bobotnya. Dengan demikian pelaksanaan pekerjaan pematokan *(stake out)* dapat dimulai dengan bagian yang sederhana pula seperti yang terlihat pada bab selanjutnya.

11.4. Latihan 11

1. Dalam membuat desain suatu belokan pada pekerjaan konstruksi, selalu digunakan geometri lingkaran sebagai penghubung kedua bagian konstruksi yang bersangkutan. Untuk itu perlu diketahui hubungan di antara unsur-unsur lingkaran, seperti hubungan di bawah ini, *kecuali:*
   a. busur yang panjang dengan sudut di pusat lingkaran
   b. busur yang pendek dengan jari-jari lingkaran
   c. sudut di pusat dengan busur panjang lingkaran
   d. busur yang pendek dengan jari-jari yang pendek

2. Unsur penting yang dibutuhkan dalam desain lengkungan adalah besar sudut di pusat lingkaran yang membentuk bentangan lengkungan yang bersangkutan. Besarnya sama dengan sudut defleksi di titik potong dan besar sudut ini didapat dari:
   a. perhitungan jari-jari, dan panjang lengkungan
   b. poligon dari kerangka dasar yang lalu
   c. poligon dari *stake out* yang sekarang
   d. penentuan pusat lingkaran dan jari-jari lengkungan

3. Unsur-unsur lengkungan yang paling diperlukan dalam mendesain lengkungan horizontal adalah:
   a. jari-jari dan sudut defleksi
   b. jari-jari, sudut defleksi dan pusat lingkaran
   c. jari-jari, sudut defleksi, pusat dan awal lengkungan
   d. tidak ada yang benar

4. Dalam melakukan pematokan nantinya, maka unsur-unsur berikut berguna bagi lengkungan horizontal, *kecuali:*
   a. tali busur
   b. panjang tembereng
   c. jarak luar
   d. jari-jari

5. Parabola yang dipakai dalam desain lengkungan vertikal mempunyai variabel terikat y sebagai variabel bentuk lengkungan, dan variabel x sebagai variasi jarak mendatar di antara dan sepanjang kedua titik singgungnya. Unsur a dan b berturut-turut menyatakan:
   a. gerak nonlinier dan linier
   b. gerak linier dan nonlinier
   b. tinggi linier dan nonlinier
   d. tinggi nonlinier dan linier

6. Desain lengkungan vertikal membutuhkan beberapa unsur yang dihitung yaitu sebagai berikut, *kecuali* :
   a. panjang busur lengkungan
   b. tinggi garis singgung
   c. koreksi lengkungan
   d. tinggi titik awal tanjakan

BAB XII
PEMATOKAN

12.1. Pendahuluan

Berbagai rancangan pekerjaan konstruksi yang merupakan desain para ahli perancang pada akhirnya harus ditempatkan kembali ke lapangan sesungguhnya, yaitu ke atas permukaan fisik bumi. Proses pemindahan dari bentuk gambar di atas peta ke atas permukaan bumi tersebut dikenal dengan nama pematokan atau *setting out* ataupun *stake out*. Dengan demikian pematokan adalah proses memindahkan atau retransformasi titik-titik yang terdapat di peta sebagai hasil dari perencanaan ke lapangan sesungguhnya.

Pekerjaan ini kelihatannya sederhana namun banyak kasus yang menunjukkan penyimpangan sebagai akibatnya. Kesederhanaan ini sering mengakibatkan pekerjaan ini terlalu dianggap remeh. Sebagai contoh ketegaklurusan tembok bangunan, atau ketegaklurusan berdirinya sebuah bangunan yang kurang teliti akan mengakibatkan pemasangan ubin yang tidak benar pula. Bahkan pemancangan patok ataupun pemasangan instalasi mesin yang besar dan harus terikat di lantai sudah tentu membutuhkan ketelitian yang tinggi. Semua hal ini justru menuntut kehati-hatian kerja yang optimal, karena apabila tidak teliti, maka mesin tersebut tidak akan dapat dipasang pada tempat yang telah dicor tersebut. Hal ini akan memerlukan pekerjaan ulang yang juga berarti penambahan kerja, biaya dan waktu yang sia-sia.

Dalam bagian ini hanya akan dibahas dua jenis pematokan yang banyak digunakan di lapangan, yaitu pematokan garis lurus dan lengkungan. Kedua kerja ini sesungguhnya berkaitan erat dengan penyelenggaraan pengukuran dan pemetaan sebelumnya. Sehingga titik-titik ikat yang telah dibangun pada pengukuran terdahulu haruslah tetap tersedia di tempatnya. Demikian pula halnya pematokan garis lurus dan lengkungan, umumnya dilakukan secara berturutan. Kerangka dasar pada mulanya memang dibangun untuk menyelenggarakan pemetaan, namun setelah desain konstruksi selesai, maka kerangka dasar tersebut juga diperlukan untuk mematok

desain tersebut di lapangan.

Namun sebagaimana lazimnya, perkembangan suatu kota atau wilayah selalu di belakang perkembangan penduduk, sehingga pada saat pembangunan dilaksanakan sering terjadi daerah tersebut telah dipenuhi oleh bangunan. Hal ini akan menghalangi gerak pembangunan tersebut. Apabila konstruksi yang dibangun membutuhkan lahan yang dipakai seterusnya, maka dapat dilakukan penggusuran dengan ganti rugi yang memadai, namun apabila hanya diperlukan sementara, maka hal itu membutuhkan pemecahan tersendiri pula. Misalnya titik potong (I) ataupun titik pusat (0) lengkungan yang jatuhnya di tengah perumahan rakyat dan lain sebagainya. Syarat tambahan yang berakibat pada hitungan tambahan juga akan dibahas pada bagian akhir sesuai dengan kasus yang sering terjadi di lapangan.

12.2. Pematokan Jalur Lurus

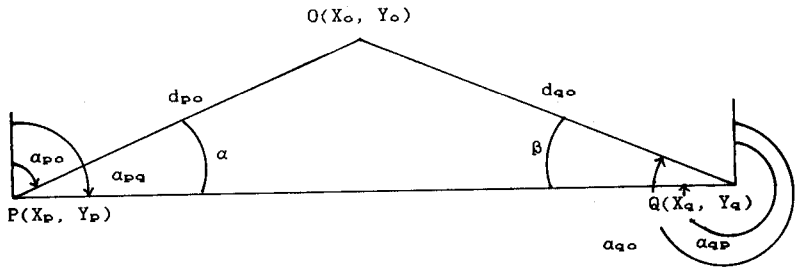
Pematokan jalur lurus pada jalan raya adalah pematokan tangen atau garis singgung yang menghubungkan antara dua titik potong I. Hal ini berarti pula,. bahwa garis singgung yang juga merupakan sebagian pelurus tersebut menyinggung dua buah lengkungan, karena dimulai dari sebuah belokan sampai pada belokan lainnya. Pada pematokan garis singgung ini, umumnya dilakukan untuk jarak setiap 50 meter dan diikatkan pada sepasang pilar titik ikat pada jarak sekitar 500 meter. Sebelum pematokan pada garis singgung dilakukan, maka perlu terlebih dahulu ditentukan titik awal dari rencana sumbu jalan tersebut.

12.2.1. Pematokan Suatu Titik Di Lapangan

Pada penentuan letak atau pematokan sebuah rencana sumbu jalan, maka sebagaimana diuraikan di atas, diperlukan sedikitnya dua buah pilar titik ikat yang lazim disebut sebagai *bench mark*. Salah satu dari kedua titik ikat tersebut merupakan posisi titik awal sehingga perlu tersedia di lapangan dan diketahui koordinatnya. Umumnya pada pembuatan jalan, juga harus tersedia dua buah pilar pada awal sumbu rencana jalan yang bersangkutan lengkap dengan koordinatnya.

Misalkan titik 0 atau yang umumnya dinamakan Sta 0 + 000 mempunyai koordinat (X_0, Y_0) yang didapat dari peta perencanaan secara grafis, selanjutnya titik 0 ini adalah titik yang akan dicari letaknya di lapangan. Untuk menentukan titik 0 ini, maka sebagai

acuan dipakai titik-titik P (X_p, Y_p) dan Q (X_q, Y_q). Untuk menentukan kedudukan titik awal (titik 0), maka hal ini dapat dilakukan baik dari titik A ataupun titik B. Pemilihannya tergantung dari situasi dan kondisi yang dihadapi, namun sebaiknya dilakukan dari dua titik ikat tersebut agar didapat ketelitian letak yang lebih baik.



Gambar 12.1. Pematokan titik nol.

Sebelum melakukan pematokan, terlebih dahulu dihitung besaran-besaran yang diperlukan untuk pematokan seperti yang terlihat di dalam gambar (12.1).

1. Menghitung sudut jurusan garis PQ (α_{PQ}):
   α_{PQ} = arc tg { $(X_Q - X_P)/Y_Q - Y_P)$ }
2. Menghitung sudut jurusan garis AO (α_{ao});
   α_{PO} = arc tg { $(X_o - X_p)/(Y_0 - Y_p)$ }
3. Menghitung sudut $\alpha = \alpha_{PQ} - \alpha_{PO}$
4. Menghitung jarak PO = d_{PO},

$$d_{pO} = \frac{X_0 - X_P}{\sin \alpha_{PO}} = \frac{Y_0 - Y_P}{\cos \alpha_{PO}} = \sqrt{\{(X_0 - X_p)^2 + (Y_0 - Y_p)^2\}}$$

5. Pelaksanaan pematokan adalah sebagai berikut:
   a. Aturlah alat ukur sudut (theodolite) di atas titik A.
   b. Arahkan alat ukur ke titik B, dan pembacaan lingkaran horizontal, misalnya = l_1.
   c. Putar alat ukur searah jarum jam sehingga hasil pembacaan lingkaran horizontal menjadi : $l_1 + (360^0 - \alpha)$.
   d. Ulurkan pita ukur dan ukurkan panjang d_{ao} yang searah dengan garis bidik teropong, (sesuai butir c).
   e. Dengan demikian letak titik 0 dapat ditentukan.

Hal yang sama dapat dilakukan dari titik B, yaitu dengan melakukan tata cara di atas, seperti:

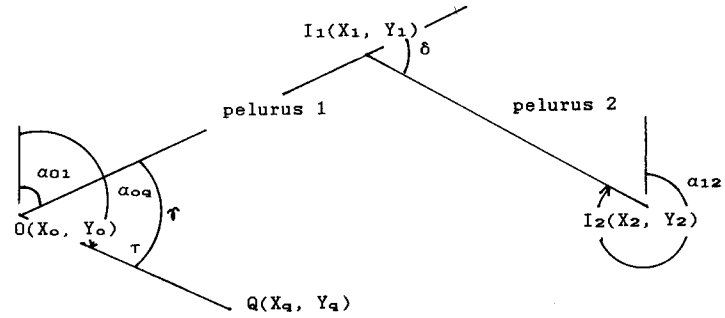
1. Menghitung sudut jurusan QO (α_{qo});
   α_{qo} = arc tg { $(X_0 - X_q)/(Y_0 - Y_q)$ }
2. Menghitung sudut = ß = $\alpha_{qo} - \alpha_{qp}$
3. Menghitung jarak QO = d_{qo}

$$d_{qo} = \frac{X_0 - X_q}{\sin \alpha_{qo}} = \frac{Y_o - Y_q}{\cos \alpha_{qo}} = \sqrt{\{(X_o - X_q)^2 + (Y_0 - Y_q)^2\}}$$

4. Pematokannya adalah sebagai berikut:
   a. Aturlah alat ukur sudut di atas titik B.
   b. Arahkan alat tersebut ke titik A, dan pembacaan lingkaran horizontalnya, misalnya I_2
   c. Kemudian putar teropong tersebut searah dengan arah jarum jam, sehingga pembacaan lingkaran horizontalnya = 1_2 + B
   d. Ukurkanlah panjang d_{qo} searah dengan garis bidik teropong, (seperti yang terdapat pada c).
   e. Dengan demikian letak titik 0 dapat pula ditentukan.

12.2.2. Pematokan Sumbu Rencana Jalan

Sebagai mana yang disinggung pada bagian pendahuluan di atas, maka pematokan sumbu rencana jalan dilakukan dengan mematok tangen atau garis singgung yang menghubungkan antara dua titik I atau titik awal dengan titik I. Sebelum dilakukan pematokan jarak setiap 50 m pada garis singgung maka terlebih dahulu harus ditetapkan arah pelurus tersebut di lapangan.



Gambar 12.2. Pematokan sumbu jalan.

Untuk melaksanakan pematokan tersebut, maka terlebih dahulu dilakukan perhitungan pendahuluan, seperti berikut:

1. Menghitung sudut jurusan garis OQ:
   $\alpha_{oq} = \text{arc tg } \{ (X_q - X_o)/(Y_q - Y_0) \}$
2. Menghitung sudut jurusan pelurus 01:
   $\alpha_{01} = \text{arc tg } \{ (X_1 - x_0)/ (Y_1 - Y_0) \}$
3. Menghitung sudut Q01 : $\tau = \alpha_{0q} - \alpha_{01}$
4. Menghitung jarak pelurus 1 = jarak I_1:
   $$d_{01} = \frac{X_1 - X_0}{\sin \alpha_{01}} = \frac{Y_1 - Y_0}{\cos \alpha_{01}} = \sqrt{\{ (X_1 - X_0)^2 + (Y_1 - Y_0)^{2)}}$$
5. Pematokannya dilakukan sebagai berikut:
   a. Aturlah alat ukur sudut di titik 0
   b. Arahkan alat tersebut ke titik B, dan pembacaan lingkaran horizontalnya, misalkan = 1_3.
   c. Kemudian putar teropong tersebut searah jarum jam sehingga pembacaan lingkaran horizontalnya = $1_3 + (360 - \tau)$.
   d. Ukuran pada jarak setiap 50 meter searah dengan garis bidik teropong sampai sepanjang pelurus dari 0 ke I_1, sehingga titik I_1 dapat dipatok.

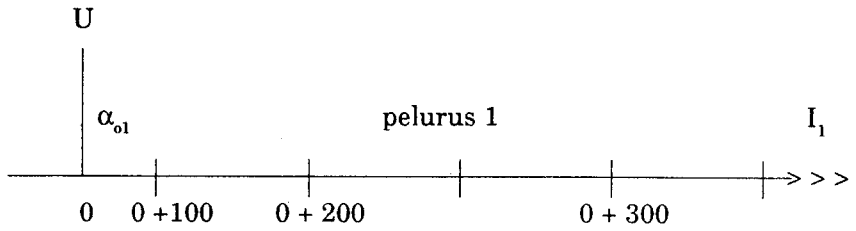
Setelah titik I_1 dipatok, maka dengan cara yang sama titik I_2 juga dapat dipatok. Data-datanya dapat dihitung dan pematokannya dapat dilakukan sebagai berikut.

1. Menghitung sudut jurusan pelurus 12:
   $\alpha_{12} = \text{arc tg } \{ (X_2 - X_1)/(Y_2 - Y_1) \}$
2. Menghitung sudut luar $OI_1I_2 : \delta = \alpha_{10} - \alpha_{12}$
3. Menghitung jarak pelurus 2 = d_{12}:
   $$d_{12} = \frac{X_2 - X_1}{\sin \alpha_{12}} = \frac{Y_2 - Y_1}{\cos \alpha_{12}} = \sqrt{\{ (X_2 - X_1)^2 + (Y_2 - Y_1)^2 \}}$$
4. Pematokannya dilakukan sebagai berikut:
   a. Aturlah alat ukur sudut di titik 1.
   b. Arahkan alat tersebut ke titik B, dan pembacaan lingkaran horizontalnya, misalkan = 1_4.
   c. Kemudian putar teropong tersebut searah jarum jam sehingga pembacaan lingkaran horizontalnya = $1_4 + (360\text{-}\delta)$.
   d. Ukuran pada jarak setiap 50 meter searah dengan garis bidik teropong sampai sepanjang pelurus dari I_1 ke I_2, sehingga titik I_2 dapat pula dipatok.

12.2.3. Pematokan Garis Singgung

Setelah semua data posisi dan kedudukan titik awal, arah dan panjang pelurus diketahui, maka pelaksanaan pembuatan pelurus di lapangan dapat dilakukan dengan membuat pematokan tiap 50 meter.

Pemasangan patok setiap 50 m pada garis singgung atau pelurus dapat dilakukan sebagai berikut:



Gambar 12.3. Pematokan pelurus.

a. Aturlah alat ukur sudut pada titik 0, tentukan arah pelurus tersebut α_1 dan rentangkan pita ukur sepanjang 50 meter, maka titik pertama ditemukan. Pasanglah patok kayu yang merupakan titik 0 + 50, demikian seterusnya sampai kurang lebih setengah jarak pelurus, ± 250 meter.
b. Pindahkan alat ukur sudut ke titik tengah tersebut dan arahkan ke titik 0. Aturlah teropong dalam kedudukan luar biasa, dan ukur jarak 50 m, pasang patok selanjutnya sampai titik I_1 yang dimaksud.

12.3. Pematokan Lengkungan

Untuk pematokan lengkungan ini, setelah seluruh data diketahui perlu diperhatikan bahwa,

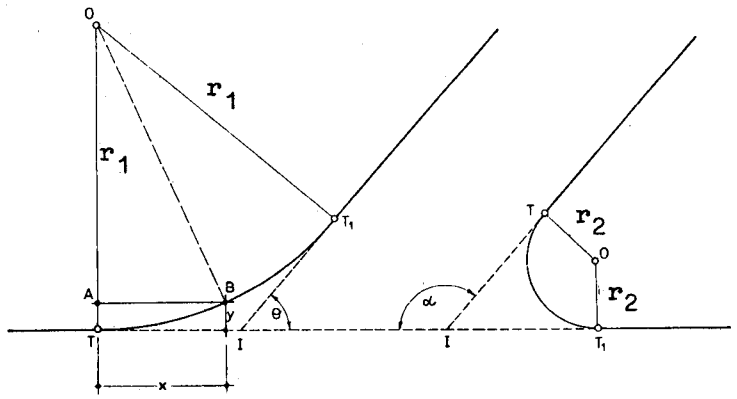
a. Jika terjadi lengkungan lebih dari 100 m, maka pematokan sebaiknya dilakukan dengan bantuan theodolite, agar didapatkan ketelitian yang cukup baik.
b. Jika jari-jari lengkungan cukup kecil maka dengan menggunakan teknik pengukuran jarak pita ukur, pematokan lengkungan tersebut dapat diselenggarakan.
c. Untuk lengkungan yang sederhana, dapat dilakukan kombinasi dari kedua batasan di atas.

12.3.1. Lengkungan Dengan Jari-jari Pendek

12.3.1.1. Pematokan pusat lengkungan

Dalam gambar di bawah ini tikungan diletakkan pada perpotongan sebuah jalan dengan sudut defleksi α diukur dari rencana di atas peta, dan panjang garis singgung IT dan IT_1 (= r tg $\alpha/2$) didapat dari hitungan, maka tata cara pematokan adalah sebagai berikut:

a. Dari I diukur pelurus dengan jarak IT dan IT_1.
b. Buatkan patok pada titik ini, sehingga jelas posisi titik T n dan T_1.
c. Pasang pita ukur dari masing-masing baut untuk mendapatkan pusat lengkungan 0 yaitu dengan memotongkan pita ukur tersebut sepanjang R. Sekali lagi buatkan patok pada titik ini lengkap dengan baut besi di atasnya.
d. Setiap titik yang ingin diset selanjutnya dilakukan dengan memasang pita ukur dari titik 0 dengan panjang jari-jari ditetapkan baik ke arah T maupun kearah T_1. Jelas terlihat bahwa metode ini hanya dapat dipakai untuk lengkungan atau jari-jari kurang dari 50 m, yaitu sesuai dengan batasan pita ukur yang dimiliki.



Gambar 12.4. Pematokan belokan jalan.

12.3.1.2. Pematokan pada garis singgung

Apabila titik deviasi cukup kecil yaitu kurang dari 50^0, maka panjang lengkungan cukup pendek dan pusatnya mudah dicari. Sehingga *setting* lengkungan tersebut dapat dilakukan dengan mengukur pematokan dari titik singgung. Pada gambar 12.4. terlihat y adalah

sebuah offset dari garis singgung dengan jarak x meter dari titik singgung. Garis AB digambar sejajar dengan garis singgung sehingga memotong jari-jari.

Panjang AT = y dan panjang AO = r - x.
Dalam segitiga AOB : $OA = \sqrt{(OB^2 - AB^2)}$,
Sehingga : $r - y = \sqrt{(r^2 - x^2)}$, maka :

$$y = r - \sqrt{(r^2 - x^2)} \quad \text{.....} \quad (12.1)$$

Dengan demikian pematokan y dapat dihitung dari setiap jarak x sepanjang garis singgung dan dapat diset dengan langsung. Ambil panjang selang absis = a meter, maka:

Koordinat titik 1 : $X_1 = a$
$Y_1 = r - \sqrt{(r^2 - X_1^2)} = r - \sqrt{(r^2 - a^2)}$

Koordinat titik 2 : $X_2 = 2a$
$Y_2 = r - \sqrt{(r^2 - X_2^2)} = r - \sqrt{\{r^2 - (2a)^2\}}$

Koordinat titik 3 : $x_3 = 3a$
$Y_3 = r - \sqrt{(r^2 - X_3^2)} = r - \sqrt{\{r^2 - (3a)^2\}}$

Untuk titik n :

$$\left.\begin{aligned} X_n &= n.a = r.\sin\theta \\ Y_n &= r - \sqrt{(r^2 - X_n^2)} \\ &= r - \sqrt{\{r^2 - (n.a)^2\}} \\ &= r - \sqrt{\{r^2 - (r.\sin\theta)^2\}} \end{aligned}\right) \quad \text{.....} \quad (12.2)$$

Cara ini banyak juga perhitungan dan letak titik-titiknya pada lengkungan tidak teratur.

Contoh 12.1 : Metode offset pada garis singgung.

Dua jalan akan dihubungkan oleh suatu lengkungan.
Sudut antara jalan = 60^0. Jari-jari lengkungan besarnya = 120 meter

Jarak titik singgung	:	IT	=	$IT^1 = r.tg\ \theta/2 = 120\ tg\ 30^0$
			=	62,28 meter.
Panjang lengkung	:	TT_1	=	$r\ .\ \theta_{rad} = 120\ .\ 60.\pi\ /180$
			=	125,66 meter.
Tali busur	:	TT_1	=	$2.T_c = 2r.\sin\theta/2 = 2\ 120\ \sin 30^0$
			=	120 meter.
Panjang tembereng	:	CV	=	$r - r\cos\theta/2 = 120 - 120\cos 30^0$
			=	16 meter.
Jarak luar	:	VI	=	$IO - r = r\sec\theta/2 - r$
			=	$120\sec 30^0 - 120$
			=	18,56 meter.
Selisih absis a			=	26 meter
Untuk titik 1	:	X_1	=	a = 26 m.

$Y_1 = r\sqrt{(r^2 - X_1^2)} = 120 - \sqrt{(120^2 - 26^2)}$
$= 2{,}85$ meter.

Untuk titik 2 : $X_2 = 2a = 52$ m.
$Y_2 = 120 - \sqrt{(120^2 - 52^2)}$
$= 11{,}85$ meter.

Untuk titik 3 : $X_3 = 3a = 78$ m.
$Y_3 = 120 - \sqrt{(120^2 - 78^2)}$
$= 28{,}80$ meter.

Untuk titik 4 : $X_4 = 4a = 104$ meter.
$Y_4 = 120 - \sqrt{(120^2 - 104^2)}$
$= 60{,}13$ meter.

Cara di atas dapat diselesaikan dengan menggunakan tabel seperti di bawah:

Contoh 12.2 : Metode offset pada garis singgung, (tabel).

Dengan : Sudut defleksi $\theta = 90^0$
Jari-jari lengkungan r = 90 meter.
Selisih absis = 9 meter.

No Titik	X (m)	a (m)	$Y = r - \sqrt{r^2 - a^2}$ (m)
1	9	9	0,40
2	18	18	1,82
3	27	27	4,15
4	36	36	7,51
5	45	45	12,06
6	54	54	18,00
7	63	63	25,73
8	72	72	36,00
9	81	81	50,77
10	90	90	90,00

Tata cara pematokan sebuah lengkungan dapat dilakukan sebagai berikut:

a. Dari I diukur mundur sepanjang pelurus dengan jarak IT dan IT_1 dan letakkan patok untuk memastikan posisi T dan T_1.
b. Letakkan patok setiap 5 meter sepanjang pelurus di antara I dan titik singgung.
c. Gunakan alat untuk mematok offset y pada sudut 90^0 terhadap garis singgung dan patoklah pada setiap titik.

12.3.1.3. Pematokan busur yang panjang

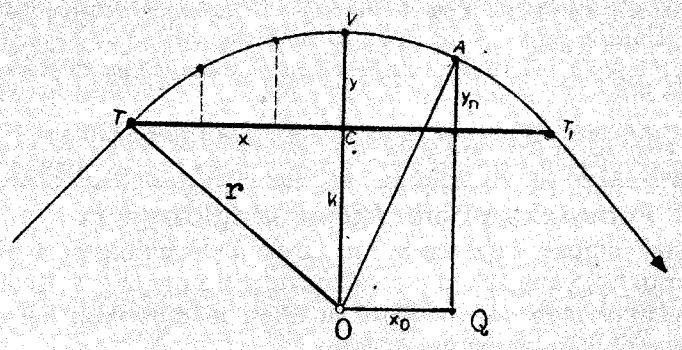
Metode ini cocok untuk lengkungan dengan radius pendek. Lengkungan dapat dibuat dengan mengukur offset y pada sudut siku-siku ke sepanjang busur TT_1, yaitu pada setiap jarak yang dipilih dari titik singgung. VC adalah offset utama y pada titik dengan C dari busur dan OC adalah tetap (k), maka:

Offset utama y = r - k.
Dalam segitiga OTC : $k = \sqrt{(r^2 - x^2)}$,
maka $y = r - \sqrt{(r^2 - x^2)}$.
Untuk offset yang lain didapat : $y_n = AB - k$
Dalam segitiga ABO : $AB = \sqrt{(r^2 - x_n^2)}$, maka:
$y_n = \sqrt{(r^2 - x_n^2)} - k$ ..... (12.3)

Contoh 12.3: Metode offset pada talibusur.

Pada pembuatan jalan dengan lengkungan horizontal.
Diketahui : Sudut jurusan AI = 40^0 dan jarak AI = 80,5 meter
Sudut jurusan IB = 100^0 dan jarak IB = 75 meter

Diminta : Desain lengkungan dan pematokan di lapangan, jika A = Sta 0 + 000 dan jari-jari kelengkungan 60 meter.



Gambar 12.5. Offset sepanjang tali busur.

Sudut defleksi	= $100^0 - 40^0 = 60^0$
Jarak I	= 85,5 meter.
Panjang garis singgung IT	= r tg (60^0/2) = 60 tg 30^0 = 34,64 meter
Jarak T	= 80,5 - 34,64 = 45,86 meter
Panjang lengkungan	= $60^0/360^0$ x 2 x π x 60 = 62,83 meter
Jarak T_1	= 45,86 = 62,83 = 108,69 meter
Tali busur TT_1	= 2.r.sin $60^0/2$ = 2 x 60 x sin 30^0
	= 60 meter
Panjang tembereng VC	= r (1 - cos $60^0/2$) = 60 (1 - cos 30^0)
	= 8,038 meter
K	= r - offset utama Y (tembereng)
	= 60 - 8,083 = 51,96 meter
Panjang tali busur	= 60 meter

Dilakukan pembagian sisi offset sepanjang tali busur setiap 10 meter,

Sisi offset Y_{10}	= $\sqrt{(60^2 - 20^2)}$ - 51,96 = 4,6 meter
Sisi offset Y_{20}	= $\sqrt{(60^2 - 10^2)}$ - 51,96 = 7,2 meter
Offset utama (tembereng)	= 8,083 meter

Sisi offset yang berjarak 40 dan 50 dari T sama besar dengan panjang sisi offset 20 dan sisi offset 10 secara berturutan.

Tata cara untuk melakukan pematokan lengkungan di lapangan adalah sebagai berikut:

a. Tandai titik T dan T_1 dan ukurlah jarak di antaranya, (dengan sendirinya jarak tersebut harus 60 meter sesuai contoh di atas).
b. Buatlah patok untuk setiap 10 meter sepanjang tali busur.
c. Patoklah sisi offset yang tegak lurus pada tali busur tersebut dengan bantuan prisma, sesuai dengan panjang sisi hasil hitungan di atas. Patoklah ujung sisi tersebut, sebagai pernyataan dari lengkungan yang dicari.

12.3.2. Pematokan Pada Busur Lingkaran

Terdapat empat cara pada pematokan lengkungan berbentuk lingkaran ini, yang selalu diawali dari titik singgung T. Kelanjutan arah pengukuran dan pematokan akan memberikan keragaman jenis pematokan lengkungan, yaitu;

a. Metode selisih busur,
b. Metode perpanjangan tali busur, dan
c. Metode koordinat polar.

Titik singgung T juga merupakan titik pusat sumbu koordinat yang diletakkan bersama dengan TI (garis hubung titik singgung dan

titik potong) sebagai sumbu X dan lengan OT (garis hubung titik singgung dengan pusat lingkaran) sebagai sumbu y.

12.3.2.1. Metode selisih busur

Dari data lengkungan diketahui adalah unsur-unsur:

a. jari-jari r,
b. sudut defleksi di titik potong θ, dan
c. panjang lengkungan 1.

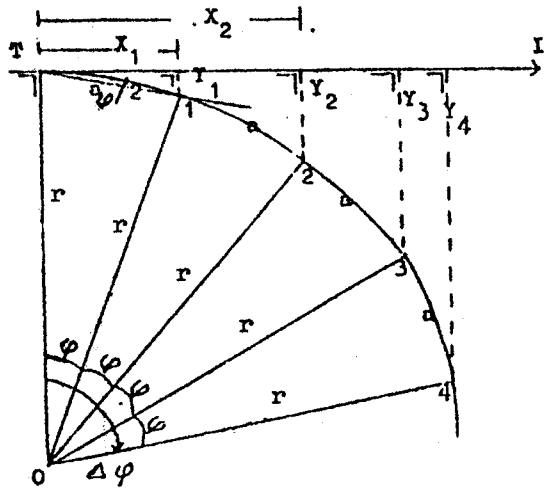
Misalkan jumlah penggalan adalah n buah, maka panjang segmen busur tersebut adalah: a = 1/n, umumnya harga a diambil antara 8 meter sampai dengan 12,5 meter.

Pemecahan dapat dilakukan sebagai berikut:

Panjang busur a di lingkaran membentuk sudut ø di pusat lingkaran, maka besarnya sudut tersebut adalah:

$$\phi = (a/r)\ (360^0/2\pi) \quad \ldots\ldots (12.4)$$

Koordinat titik ujung dari segmen busur dapat dinyatakan dalam sistem koordinat dengan menggunakan titik singgung pertama T sebagai pusat salib sumbu.



Gambar 12.6. Cara selisih busur.

Koordinat titik 1 : $X_1 = r.\sin \phi$

$Y_1 = r - r.\cos \phi = 2r.\ \sin^2 \phi/2$

Koordinat titik 2 : $X_2 = r.\sin 2\phi$.
$Y_2 = r - r.\cos 2\phi = 2r.\sin^2 2\phi/2$
Koordinat titik 3 : $X_3 = r.\sin 3\phi$
$Y_3 = r - r.\cos 3\phi = 2r.\sin^2 3\phi/2$
Koordinat titik 4 : $X_4 = r.\sin 4\phi$
$Y_4 = r - r\cos 4\phi = 2r.\sin^2 4\phi 2$

Dengan cara yang sama didapatkan koordinat titik ke n, yang berada pada titik singgung kedua T_1 di lengkungan:

$$x_n = r.\sin n\phi = r\sin\phi$$
$$Y_n = r - r.\cos n\phi = r - r.\cos\phi = 2r.\sin^2 n.\phi/2 = 2r.\sin^2\phi/2 \quad \text{..... (12.5)}$$

Contoh 12.4 : Metode selisih busur.

Dari data lengkungan diketahui, bahwa:
Jari-jari lengkungan : r = 80 meter
Sudut defleksi : $\theta = 60^0$
Maka panjang busur : $l = r.\theta = 80 \times 60^0 . \pi/180^0 = 83{,}73$ meter
Misalkan, banyak titik (n) yang diambil = 5, maka:
Panjang selang a = l/n = 83,73/5 = 16,746 meter.

$$\phi = \frac{a}{r} \cdot \frac{360^0}{2\pi} = \frac{16{,}746}{80} \times \frac{360^0}{2\pi} = 11{,}5^0$$

Koordinat titik tersebut dapat dihitung sebagai berikut:

1.	$X_1 = r.\sin\phi$	$= 80\sin(11{,}5^0)$	=	16,0 meter
	$Y_1 = 2r.\sin^2\phi/2$	$= 2.80\sin^2(11{,}5^0/2)$	=	1,5 meter
2.	$x_2 = r.\sin 2\phi$	$= 80\sin(2.11{,}5^0)$	=	31,0 meter
	$y_2 = 2r.\sin^2 2\phi/2$	$= 2.80\sin^2(2.11{,}5^0/2)$	=	6,0 meter
3.	$x_3 = r.\sin 3\phi$	$= 80\sin(3.11{,}5^0)$	=	45,0 meter
	$y_3 = 2r.\sin^2 3\phi/2$	$= 2.80\sin^2(3.11{,}5^0/2)$	=	14,0 meter
4.	$x_4 = r.\sin 4\phi$	$= 80\sin(4.11{,}5^0)$	=	57,5 meter
	$y_4 = 2r.\sin^2 4\phi/2$	$= 2.80\sin^2(4.11{,}5^0/2)$	=	24,0 meter
5.	$x_5 = r.\sin 5\phi$	$= 80\sin(5.11{,}5^0)$	=	67,5 meter
	$y_5 = 2r.\sin^2 5\phi/2$	$= 2.80\sin^2(5.11{,}5^0/2)$	=	37,0 meter

12.3.2.2. Metode perpanjangan tali busur

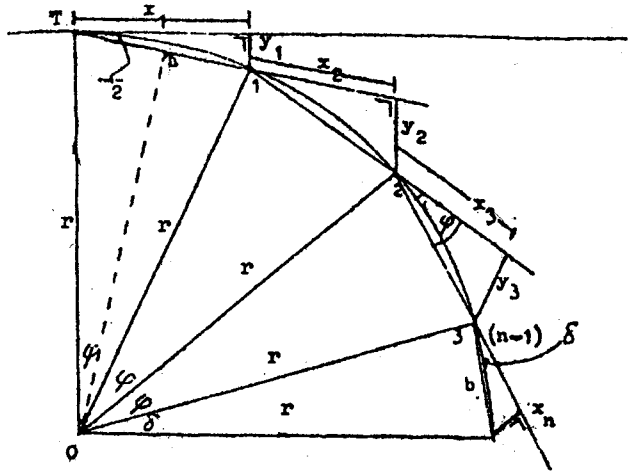
Dalam metode ini koordinat yang diambil mirip dengan cara pematokan garis singgung pada awalnya, yaitu absis dan ordinat pematokan diambil sepanjang sumbu x (garis T1) dan tegak lurus padanya. Namun pada langkah kedua, absis dan ordinat pematokan dinyatakan terhadap sumbu baru yang dibangun pada perpanjangan tali busur pertama sepanjang tali busur yang dipilih, dan tegak lurus padanya. Panjang tali busur yang dipilih tersebut misalkan a, maka besar sudut pusat dengan panjang tali busur a akan selalu sama pada setiap pematokan, yaitu;

$\sin\phi/2 = a/2r$, maka $\phi/2 = \text{arc}\sin a/2r$
$\phi = 2\ \text{arc}\sin a/2r$ ..... (12.6)

Dengan demikian dalam metode ini, koordinat titik 1 dapat ditentukan dari panjang x_1 dan y_1 dengan sudut 90^0, atau dapat pula dengan mengukurkan sudut $\phi/2$ dan jarak a dari titik singgung T.

maka : $x_1 = a\cos\phi/2$ dan $y_1 = a\sin\phi/2$ ..... (12.7)

Demikian pula halnya dengan titik 2 dan selanjutnya, selain dapat ditentukan dengan menggunakan panjang x_2 dan y_2 dengan



Gambar 12.7. Metoda tali busur

sudut 90^0 pada perpanjangan tali busur pertama, juga dapat dilakukan dengan menggunakan sudut ø/2 dan jarak a. Dari bahasan metode ini jelas terlihat penentuan titik selanjutnya berdasarkan titik sebelumnya, hal ini pasti mengundang terjadinya penumpukan kesalahan pada akhir pematokan.

12.3.2.3. Metode koordinat polar

Dalam metode polar, sesuai dengan namanya, maka penentuan posisi pematokan dilakukan langsung dari titik singgung T. Pada dasarnya metode ini mirip dengan metode tali busur yang sama. Namun karena pengukuran dilakukan dari titik T, maka yang diperlukan adalah sudut-sudut yang dibentuk oleh tali busur yang dipilih, yaitu dengan mengukurkan sudut ø/2, ø, 3ø/2, 2ø, 5ø/2, ...nø/2.

Apabila diambil a sebagai panjang tali busur atau jarak antara titik, maka dari hubungan geometri didapat, bahwa:

$\sin ø/2 = a/(2r)$ ..... (12.8)

Sebagaimana lazimnya, maka sudut pusat didapat dari : $ø = ø/n$.

Besarnya sudut polar (S_1) dari titik T untuk setiap pematokan adalah bergerak dengan pergeseran sebesar ø/2, namun jarak pematokan (d_1) dari titik T dapat dihitung sebagai berikut:

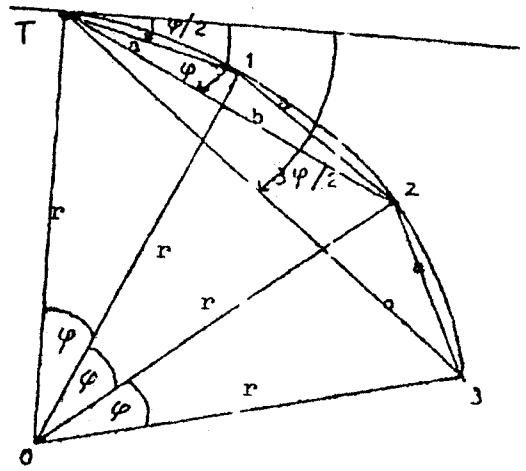
Koordinat titik 1 : $S_1 = ø/2$; $d_1 = a = n$
Koordinat titik 2 : $S_2 = ø$; $d_2 = 2\ r.\ \sin ø$
Koordinat titik 3 : $S_3 = 3ø/2$; $d_3 = 2\ r.\ \sin 3ø/2$, maka

.
.
.
.

Koordinat titik n : $S_n = n.\ ø = \theta$

$d_n = 2r \sin nø/2$ .....(12.9)

$= 2r \sin \theta$



Gambar 12.8. Metode koordinat polar

Contoh 12.5 : Metode koordinat polar

Membuat lengkungan dengan metode koordinat polar.
Diketahui : jari-jari lengkungan r = 80 meter
sudut defleksi 0 = 60^0

maka panjang lengkungan 1 = r . 0
= 80. (60^0 . π/180)
= 83,7 meter

Jika jumlah selang n = 10 ; a = 1/n = 83,7/10
= 8,37 ; (8 < a < 12,5)

Sudut segmen deviasi : $ø = \frac{a}{r} \cdot \frac{360^0}{2\pi} = 5{,}9976^0 = 6^0$

Maka : d_1 = 2r.sin 1/2 θ = 2.80 sin 3^0 = 8,37 meter
d_2 = 2r.sin θ = 2.80 sin 6^0 = 16,72 meter
d_3 = 2r.sin 1 1/2 θ = 2.80 sin 9^0 = 25,03 meter
d_4 = 2r.sin 2 θ = 2.80. sin 12^0 = 32,27 meter
d_5 = 2r.sin 2 1/2 θ = 2.80 sin 15^0 = 41,40 meter
d_6 = 2r.sin 3 θ = 2.80 sin 18^0 = 49,44 meter
d_7 = 2r.sin 3 1/2 θ = 2.80 sin 21^0 = 57,34 meter
d_8 = 2r.sin 4 θ = 2.80 sin 24^0 = 65,08 meter
d_9 = 2r.sin 4 1/2 θ = 2.80 sin 27^0 = 72,64 meter
d_{10} = 2r.sin 5 θ = 2.80 sin 30^0 = 80,00 meter

Tata cara pematokan metode ini dapat dilakukan sebagai berikut:

a. Aturlah alat berdiri di titik singgung T dan arahkan teropong ke titik potong I.
b. Terhadap arah TI, putarlah teropong sebesar ø/2 untuk mendapatkan arah pematokan titik 1.
c. Ukurkan jarak pertama untuk mendapatkan titik patok yang pertama pula.
d. Lakukan hal yang sama untuk mendapatkan titik pematokan yang lainnya.

12.4. Lengkungan Bersyarat

12.4.1. Rintangan Pada Titik Potong

Sering terjadi, bahwa titik potong pada suatu daerah tidak dapat dipatok karena rintangan yang telah ada, misalnya pada daerah tersebut telah ada bangunan yang permanen. Dalam hal ini titik I atau titik potong dapat dihitung dengan menggunakan poligon.

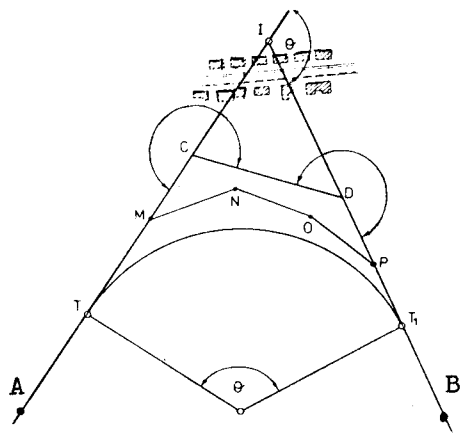
Andaikan diambil titik N pada pelurus AI dan P pada pelurus BI, maka dengan mudah dapat dibuat sembarang poligon yang menghubungkan kedua pelurus tersebut. Poligon yang paling sederhana adalah umpamanya mengambil 2 titik pada masing-masing pelurus, misalnya C pada AI dan D pada BI. Maka sudut ACD dan CDB beserta jarak AC dan CD dapat diukur dengan mudah. Dari data ini dapat ditentukan jarak C.

Contoh 12.6 : Masalah rintangan pada titik potong

Misalkan dari gambar tersebut direncanakan:
Sudut ACD = $252^0\ 15'$, jarak AC = 559,28 m
Sudut CDB = $227^0\ 25'$, jarak CD = 256,5 m
Jari-jari = 300 meter.
Dalam segitiga ICD : sudut C = $72^0\ 15'$
sudut D = $47^0\ 25'$, maka
sudut I = $60^0\ 20'$
Dengan menggunakan rumus sinus pada segi tiga ICD didapat:

IC/sin $47^0\ 25'$ = CD/sin $60^0\ 20'$, maka
IC = 256,5 x 0,738259/0,86892
= 217,93

Jarak dari I = AC + IC
= 559,8 + 217,93
= 777,21 m
Deviasi sudut = $180^0 - 60^0\ 20' = 119^0\ 40'$
Panjang garis singgung IT = r tg 0/2
= 300 x tg $59^0\ 50'$
= 300 x 1,720474
= 516,142 m
Maka jarak titik T = jarak I - 516,142
= 777,210 - 516,142
= 261,068 m

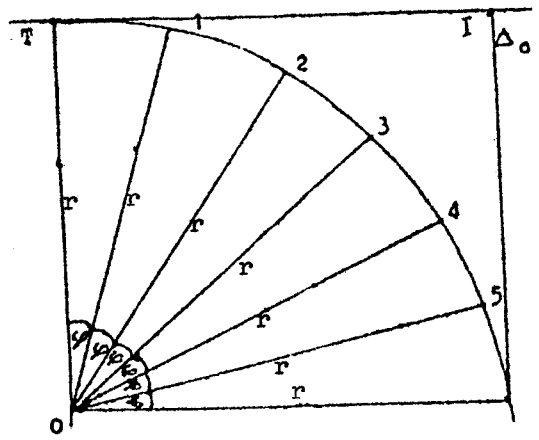


Gambar 12.9. Rintangan di titik potong.

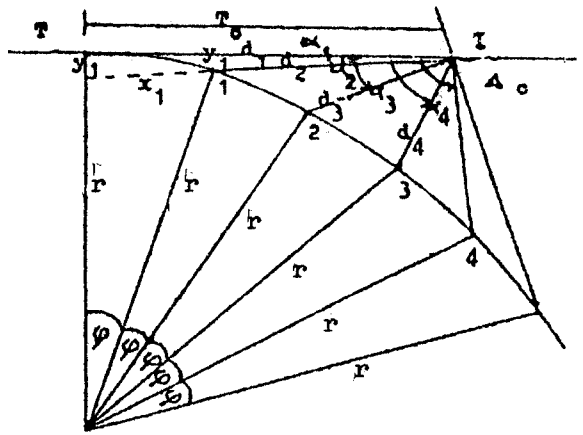
12.4.1.1. Metode poligon dari titik pusat

Sama halnya dengan metode yang terdahulu, maka di dalam metode poligon ini jarak di antara titik pematokan juga diambil konstan, yaitu a. Terhadap titik pusat lengkungan sudut yang terbentuk hanya dua jenis, yaitu sepasang dengan besar (90^0-ø/2), pada awal dan akhir pematokan dan sekelompok yang memiliki besar (180^0-ø). Dari sudut pandang lain juga dapat dipilih pasangan sudut ø/2 pada awal dan akhir pengukuran, serta (180^0+ø), tetapi pengukurannya dilakukan pada setiap titik sepanjang busur lengkungan tersebut.

Ambil jumlah selang = n, maka besar sudut di pusat lengkungan yang setara dengan a = ø/n.



Gambar 12.10. Poligon titik pusat



Gambar 12.11. Poligon titik potong.

12.4.1.2. Metode poligon dari titik potong

Dalam cara ini alat didirikan di titik potong dan pematokan dilakukan secara polar dari I. Untuk maksud tersebut perlu dihitung argumen sudut dan jarak dari masing-masing titik pematokan.

Apabila n adalah jumlah selang, maka $\phi = \theta/n$

panjang garis singgung $T = r \operatorname{tg} \theta/2$

Dari hubungan geometri di atas didapat : $\operatorname{tg} \alpha_1 = y_1 (T - X_1)$, $d_1 = y_1/\sin \alpha_1$

Untuk $X_1 = r.\sin \phi$; $Y_1 = r - r.\cos \phi$,

Maka didapat koordinat titik 1 adalah:

$$\alpha_1 = \text{arc} \left\{ \frac{(1 - \cos \phi)}{(\operatorname{tg} \theta/2 - \sin \theta)} \right\}$$

$$d_1 = \frac{r\,(1 - \cos \phi)}{\sin \alpha_1}$$

dan

$$\alpha_2 = \text{arc} \left\{ \frac{(1 - \cos 2\phi)}{(\operatorname{tg} 1/2\, \phi - \sin 2\phi)} \right\}$$

$$d_2 = \frac{r\,(1 - \cos \phi)}{\sin \alpha_2}$$

Maka rumus umum : untuk titik ke n:

$$\alpha_n = \text{arc} \left\{ \frac{(1 - \cos \theta)}{(\operatorname{tg}\ \theta/2\ - \sin \theta)} \right\} \quad \text{.....(12.10)}$$

$$d_n = \left\{ \frac{r\,(1 - \cos n\, \phi)}{\sin \alpha_n} \right\} \quad \text{.....(12.11)}$$

12.4.2 Lengkungan Singgung Pada Tiga Pelurus

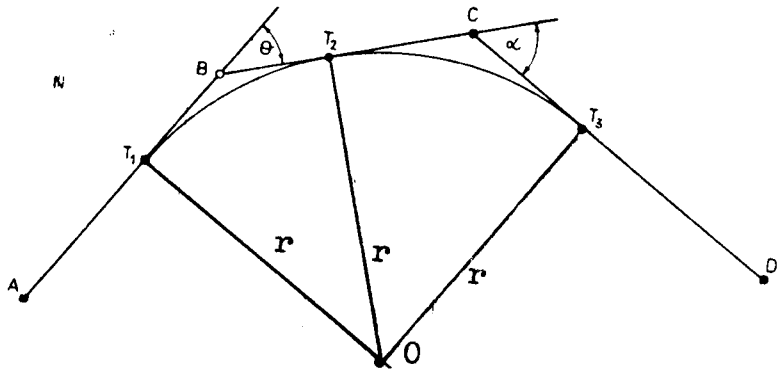
Dalam gambar 12.12. terdapat 3 buah pelurus yang bersama-sama menyinggung sebuah lengkungan lingkaran. Jari-jari lengkungan tersebut tidak diketahui dan justru akan ditentukan.

Salah satu syarat yang harus dipenuhi adalah, bahwa setiap pelurus merupakan garis singgung kepada lengkungan dengan jari-jari R. Masalahnya memang akan lebih sederhana apabila terdapat dua pelurus saja, misalnya AB dan BC.

Dalam hal ini BT_1 dan BT_2 mempunyai jarak yang sama dan bersudut θ, maka $BT_1 = BT_2 = r \text{ tg } \theta/2$.

Perhatikan pelurus BC dan CD. CD_2 dan CD_3 adalah garis singgung yang mempunyai jarak yang sama dan sudut yang di-apitnya (sudut deviasi) adalah α, maka $CD_2 = CD_3 = r \text{ tg } \alpha/2$.
Panjang BC diketahui dan juga sama dengan $BT_2 + CT_2$, maka:

$BC = BT_2 + CT_2$
$= r \text{ tg } \theta/2 + r \text{ tg } \alpha/2$, dengan demikian
$r = BC/(\text{tg } \theta/2 + \text{tg } \alpha/2)$ ..... (12.12)



Gambar 12.12. Lengkungan dengan tiga pelurus.

Contoh 12.7 : Masalah lengkungan menyinggung tiga pelurus.

Perhatikan gambar 12.12, terdapat 3 garis AB, BC dan CD masing-masing mempunyai sudut jurusan dan jarak. Berturut-turut, sudut jurusannya adalah :

$\alpha_{AB} = 34^\circ$ $d_{AB} = 735{,}7$ meter
$\alpha_{BC} = 74^\circ$ $d_{BC} = 210{,}5$ meter
$\alpha_{CD} = 124^\circ$, $d_{CD} = 640{,}4$ meter

Ditanyakan: jari-jari lengkungan, dan panjang kurva lengkungan.
Penyelesaian :

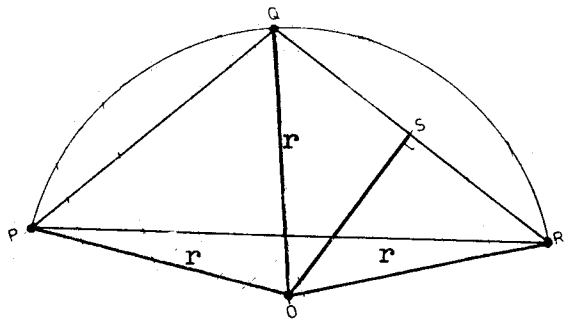
a. Sudut θ = Selisih kedua sudut jurusan AB dan BC_1
yaitu : $74^\circ - 34^\circ = 40^\circ$.
Sudut α = sudut jurusan CD - sudut jurusan BC
$= 124^\circ - 74^\circ$
$= 50^\circ$, maka

$r = BC/(\text{tg } \theta/2 + \text{tg } \alpha/2) = 210{,}5/(\text{tg } 20^\circ + \text{tg } 25^\circ)$
$= 210{,}5/0{,}8302779 = 253{,}53$ meter.

b. Sudut $T_1OD_3 = 40^\circ + 50^\circ = 90^\circ$, maka
Panjang lengkungan = V/2 x r
= 398,245 meter

12.4.3. Lengkungan Melalui Tiga Titik

Ambil 3 titik P, Q dan R yang koordinatnya diketahui maka ketiga titik tersebut akan dihubungkan dengan sebuah kurva yang diketahui jari-jarinya. Juga dipertanyakan panjang lengkungan tersebut. Dengan demikian lengkungan yang melalui ketiga titik PQR tersebut sekaligus juga adalah lingkaran yang berisikan segitiga PQR.



Gambar 12.13. Lengkungan melalui tiga buah titik.

Apabila sudut QPR = 1/2 sudut QOR = sudut SOR.
Sudut QPR dan jarak SR dapat dihitung dari koordinat, maka

$OR = SR \text{ cosec } SOR$ ..... (12.13)

Cara yang lebih mudah adalah dengan menggunakan rumus sinus, yaitu : $P/\sin P = Q/\sin Q = R/\sin R$
$= 2 \times$ jari-jari lengkungan tersebut.

Sisi QR = P dan sudut QPR dapat ditemukan dari hitungan koordinat.

Contoh 12.8: Masalah lengkungan melalui 3 titik.

Titik P,Q dan R diketahui koordinatnya, yaitu:
P(247,6 ; 171,3), Q(332,0 ; 205,4), dan titik R(390,4 ; 122,1). Hitunglah jari-jari lengkungan yang melalui ketiga titik tersebut.
Pemecahannya:

$tg\ \alpha_{PQ} = \delta_x/\delta_y$
$= (332,0 - 247,6)/(205,4-171,3)$
$= 84,4/34,1$

$\alpha_{PQ} = 66^0$

Dengan cara yang sama didapat

$tg\ \alpha_{PR} = 390,4 - 247,6/122,1 - 171,3 = 142,8/9-49,2)$
$\alpha_{PQ} = 109^0$
jarak QR $= \sqrt{(\delta x)^2 + (\delta y)^2} = 101,73$ meter.
Sudut QPR $= 109^0 - 68^0 = 41^0$.

Dalam segi tiga PQR, maka P/sin P = 2 r.
Dengan demikian : r = 101/2 x sin 41°
= 77,53 meter.

12.5. Pematokan Lengkungan Vertikal

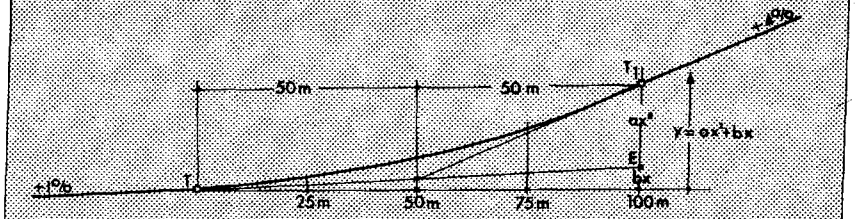
Sebagaimana yang disinggung pada bab kesebelas, tanjakan dan timbunan memerlukan desain lengkungan vertikal yang model matematikanya adalah sebuah parabola sederhana. Untuk kepentingan pematokan tanjakan atau turunan tersebut, diperlukan beberapa informasi pendahulu, seperti:

a. Panjang lengkungan.
Panjang lengkungan ini terikat pada tanjakan *(gradient)* dari pelurus dan jarak penglihatan yang diperlukan.
b. Kemiringan tanjakan penurunan ketinggian.

Contoh 12.9: Pematokan parabola 1.

Dua buah tanjakan dengan kemiringan 2% dan 5% bertemu di titik potong I. jarak I = 500 meter dan tinggi I= 12,50 meter. Akan dibangun sebuah lengkungan vertikal dengan panjang 100 meter. Hitunglah tinggi lengkungan untuk setiap 25 meter.

Jarak singgung IT = IT_1 = 100/2 = 50 meter.



Gambar 12.14. Pematokan lembah lengkungan.

Tinggi T = tinggi I -1% . 50 m = (12,5 - 0,5) m
= 12,0 meter
Tinggi T_1 = tinggi I + 4% . 50 m = (12,5 + 2,0) m
= 14,5 meter.
Tinggi E = tinggi I + 1% . 50 m = (12,5 + 0,5) m
= 13 meter.

Beda tinggi $ET_1 = a.x^2$ = tinggi T_1 - tinggi E
$= a.x^2 = (14,5 - 13)$ m

$a.(100)^2$ = 1,5 meter.
a = 0,15 mm.

Untuk setiap titik pematokan nilai koreksi ax^2, yaitu :

Pada 25 m : $0,15 \times 25^2$ = 93,75 mm
Pada 50 m : $0,15 \times 50^2$ = 375,00 mm
Pada 75 m : $0,15 \times 75^2$ = 844,00 mm.

Ketinggian pada garis singgung TIE dimulai dari T sama dengan ketinggian dari T + bx, dengan mengambil b sebagai *gradient*:
Pada 25 m : 12,5 + 1% . 25 = 12,75 meter
Pada 50 m : 12,5 + 1% . 50 = 13,00 meter
Pada 75 m : 12,5 + 1% . 75 = 13,25 meter
Pada 25 m : 12,5 + 1% . 25 = 12,75 meter
Pada 50 m : 12,5 + 1% . 50 = 13,00 meter
Pada 75 m : 12,5% + 1% . 75 = 13,25 meter

Tinggi yang dikoreksi pada setiap titik pematokan adalah tinggi garis

singgung ditambah dengan ax^2, yaitu:

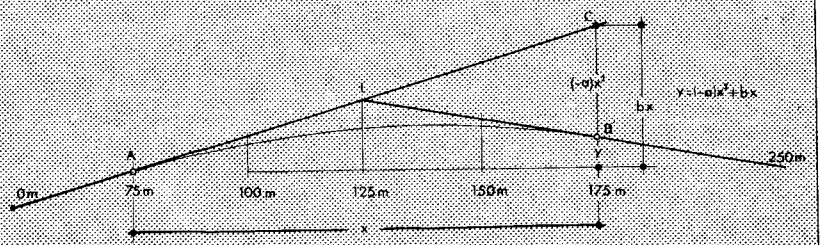
Jarak patok	Tinggi Tangen (T + bx)	Koreksi tanjakan ax^2	Tinggi dikoreksi (T+ax²+bx)
0	12,00	0,000	12,000 meter
25	12,75	0,094	12,169 meter
50	13,00	0,375	13,375 meter
75	13,25	0,844	14,094 meter

Contoh 12.10 : Pematokan parabola II.

Data berikut didapat dari ketinggian sepanjang pelurus dari sebuah jalan, yaitu dari titik A sampai dengan titik B.

Titik	0	A	B	D
Jarak	0,00	75,00	175.00	250,00 meter
Tinggi	12,37	13,87	14,04	13,29 meter

Hitunglah : Tinggi permukaan jalan pada jarak 100, 150, dan 175 meter dan posisi serta ketinggian titik yang tertinggi dari lengkungan tersebut.



Gambar 12.15. Pematokan puncak lengkungan.

Kemiringan pelurus pertama : $(h_a - ha)/75) \times 100\% = +2\%$
Kemiringan pelurus kedua : $(hb - h_a)/75 \times 100\% = -1\%$

Ketinggian titik C = h_a +2% x 100 = 15,87 meter, maka beda

Ketinggian titik C = h_a +2% x 100 = 15,87 meter, maka beda tinggi titik C dan titik B + (15,87 - 14,04) = 1,83 meter.
Padahal : Beda tinggi C-B = - ax^2, maka :
1,83 = - a. 100^2
a = - 0,000183 meter.

Jarak dari T (m)	Tinggi Tangen (T+bx) (m)	koreksi Tanjakan (ax^2) (m)	Tinggi dikoreksi (T+ax²+bx)
75	13,87	—	—
100	14,37	- 0,114	14,226 meter
135	15,07	- 0,659	14,411 meter
150	15,37	- 1,029	14,341 meter
175	15,87	- 1,830	14,04 meter

Titik tertinggi atau terendah dari lengkungan vertikal ini adalah titik belok. Secara geometri, maka garis singgung pada titik tersebut terlihat mendatar atau dikatakan tanjakannya sama dengan 0. Secara matematis dikatakan turunan di titik belok tersebut sama dengan 0.

dy/dx = 0
2ax + b = 0
x = -b/2a

Untuk b = 2% dan a = -0,183 mm didapat:

Jarak dari awal lengkungan A = - (2/100) / (2 . - 0,183 . 100^2)
= 54,6 meter.

Yaitu pada jarak 129,6 meter dari titik 0.

Tinggi dikoreksi pada titik tersebut = 13,87 + 1,128 - 0,546
= 14,452 meter.

12.6. Rangkuman 12

Pematokan atau *setting out* ataupun sering dikatakan sebagai *stake out* jelas berbeda dengan *offset*. *Offset* dapat dikatakan sebagian dari pematokan yang bersifat khusus, yaitu menentukan suatu bentuk berdasarkan hasil ukuran di lapangan untuk maksud perhitungan selanjutnya, ataupun dapat pula merupakan hasil perhitungan di atas kertas untuk dipakai sebagai data pematokan di lapangan. Namun kekhususan lainnya adalah sifat ketegaklurusan yang mendominasi pekerjaan offset. Pada pekerjaan pematokan bukan hanya mempersoalkan garis lurus, namun juga lengkungan, baik yang horizontal maupun yang vertikal.

Sebagaimana lazimnya, maka dalam pematokan ini juga diperlukan adanya titik nol. Sehingga pematokan titik nol adalah usaha awal dari semua pematokan selanjutnya. Dua jenis pematokan yang disinggung di atas memang terbatas pada garis lurus dan lengkung lingkaran dan parabola di lapangan. Namun pengertian pematokan sesungguhnya lebih luas lagi. Pekerjaan ini juga mencakup pematokan titik-titik guna peletakan alat-alat berat di suatu pabrik. Ataupun pengaturan letak suatu konstruksi yang sangat besar dan tinggi. Bahkan *"sea fix positioning"* yang merupakan penentuan posisi di laut, sesungguhnya memanfaatkan teknik pematokan yang sederhana, namun dengan peralatan elektronik yang canggih dan teknik berhibung yang lebih rumit.

Garis lurus dan selanjutnya diartikan sebagai garis singgung (tangent) merupakan unsur kedua yang diperlukan sesudah titik nol. Garis singgung yang merupakan sebagian dari pelurus, juga merupakan garis penghubung di antara dua titik potong. Atau lebih jelasnya, sebuah garis singgung umumnya menyinggung dua buah lengkungan. Bukankah penghubung dua buah belokan merupakan sebuah garis lurus. Garis lurus lainnya yang dibahas di atas adalah sumbu rencana jalan ataupun saluran.

Pematokan lengkungan horizontal dapat dilakukan dengan berbagai cara, baik dengan cara offset pada garis singgung, ataupun dengan cara menghitung penggalan pematokan yang didesain sepanjang busur lengkungan tersebut. Berbagai cara yang dapat dipilih telah disajikan dengan beberapa contoh. Demikian pula halnya apabila terjadi rintangan yang merupakan prasyarat pematokan di lapangan, telah lengkap dibahas beserta contoh soalnya.

Pematokan lengkung vertikal memiliki tata cara tersendiri karena mengambil bentuk dasar geometri sebuah parabola. Contoh perhitungan lembah dan puncak lengkungan telah [illegible] dalam bahasan di atas.

12.7. Latihan 12

1. Pematokan titik nol merupakan usaha awal untuk menemukan titik awal dari suatu perencanaan pekerjaan konstruksi. Pematokannya dapat dilakukan dari satu titik atau dua titik yang diketahui. Apabila didapatkan dua titik nol yang berbeda, maka:
   a. ditentukan harga rata-ratanya
   b. ternyata salah hitung dan diulang
   c. ternyata salah ukur dan diulang
   d. tidak ada yang benar

2. Untuk pematokan garis yang panjang, maka selalu diusahakan:
   a. menyediakan pita ukur yang panjang
   b. bantuan alat ukur sudut dan membagi dua jarak
   c. bantuan jalon beberapa buah atau
   d. tidak ada yang benar

3. Dalam pematokan lengkungan dengan cara offset selisih absis yang sama panjang, maka sejak awal telah diketahui offset utama yang besarnya adalah:
   a. lebih pendek dari jari-jari
   b. sama dengan jari-jari
   c. lebih panjang dari jari-jari
   d. tak tentu

4. Desain dari lengkungan membutuhkan beberapa data awal, *kecuali:*
   a. jari-jari lengkungan
   b. kedua sudut jurusan pelurus
   c. sepasang koordinat pada masing-masing pelurus
   d. titik potong

5. Pematokan pada busur lingkaran dapat dilakukan dengan tiga cara, *kecuali:*
   a. metode selisih busur
   b. metode selisih absis
   c. metode perpanjangan tali busur
   d. metode koordinat polar

6. Umumnya pekerjaan pembuatan lengkungan sering terganggu oleh perumahan yang telah dibangun terlebih dahulu. Untuk mengatasi hal ini perlu diselenggarakan:
   a. penggusuran
   b. memindahkan lengkungan
   c. membuat poligon
   d. merubah jari-jari

7. Pembuatan lengkungan vertikal menggunakan jarak sebagai unsur koreksi ketinggian. Koreksi tersebut dinyatakan *kecuali* dalam:
   a. titik nol
   b. bx
   c. ax^2
   d. titik singgung pertama

KEPUSTAKAAN

ALLAN, A. L., et. al., *Practical field surveying and computations.* London : Heinemann Ltd., 1975.

BANNISTER, A. & H.W. STEPHENSON, *Solution of Problems in SURVEYING & FIELD ASTRONOMY.* London : Pitman Pub., 1974.

BOMFORD, G., *Geodesy,* London: Oxford Press, 1973.

BREED, HOSMER & BONE, *Elementary Surveying.* London: John Wiley & Sons, 1958.

..... , *Higher Surveying,* London: John Wiley & Sons, 1962.

BURNSIDE, C. D., *Electromagnetic Distance Measurement.* London: ELBS, 1971.

COLLINS, S. P., *A Handbook of Accurate Surveying Methods.* London: Pitman Publ., 1972.

COOPER, M.A.R., *Fundamentals of Survey Measurement and Analysis.* London: Granada Publ., 1974.

HENDRIATININGSIH, *Geometris Jalan Raya dan Stake Out,* LN 7.03, Bandung: Jur Geodesi ITB, 1981.

INGHAM, A.E. , *Hydrography for the Surveyor and Engineering.* London: Crosby Lockwood Staples, 1974.

IRVINE, WILLIAM, *Surveying for Construction,* London: McGraw Hill, 1974.

JORDAN, EGGERT & KNISELL, Handbook of Geodesy, Translated by M. Carta, Washington: US Army, 1972.

LAURILA, SIMO H. , *Electronic Surveying & Navigation.* New York Wiley Interscience Pub., 1976.

PURWORAHARDJO, UMARJONO, *Hitungan dan Proyeksi Geodesi* II *(Proyeksi Peta),* LN 2.01., Bandung: Jur. Geodesi ITB, 1986.

ROELOFS, R., *Astronomy Applied to Land Surveying.* Amsterdam: NV. WED. J. Ahrend & ZOON, 1950.

SAASTAMOINEN, J.J., *Surveyor's Guide to Electromagnetic Distance Measurement. Toronto:* Uni of Toronto Press, 1967.

SHANANI, P.B., *Textbook of Surveying. New Dehli:* Mohan Primlani Pub., 1978,

SINAGA, I., *Pedoman Penentuan Posisi dan Azimuth Astronomis.* LN. 7.01., Bandung: Jur. Geodesi ITB, 1976.

..... *Penurunan Rumus-rumus Reduksi* pada pengamatan Astronomi Geodesi. LN 7.02 Bandung: Jur. Geodesi ITB, 1977.

..... , *Simultaneous Determination of Latitude and Longitude with the Zeiss Ni-2 Astrolabe",* Master Thesis, School of Surveying, University of the New South Wales. Sydney : UNSW, 1981.

..... *Teori dan Praktek Pengukuran dan Pemetaan Tanah,* Jakarta: Pelangi, 1984.

..... , *Penyelenggaraan jaring kalibrasi alat survey di Indonesia* Pertemuan dan Presentasi Ilmiah KIM-LIPI, 1983.

SINAGA, I. & KOESDIONO, *Model matematika untuk Hitung Perataan.* LN 6.04 Bandung: Jur. Geodesi ITB, 1978.

..... , *Dasar-Dasar Matematika untuk Geodesi,* LN 6.05. Bandung: Dept. Geodesi itb, 1979.

SOENARJO, J., *Konsep-konsep dasar dalam Pemetaan dan Geodesi.* Makalah dalam Pengabdian. Bandung: Dept. Geodesi ITB, 1977.

..... Nota Tentang Proyeksi Polyeder dan Proyeksi Mercator. Makalah dalam Pengabdian. Bandung : Jur. Geodesi ITB, 1977.

..... *Geodesi dan Pembangunan,* Makalah dalam Pengabdian, Bandung: Dep. Geodesi ITB, 1977.

WOLF, PAUL R., *Adjustment Computation.* Madison: P.B.L. Pub. Co., 1980.

WONGSOTJITRO, S., *Ilmu Ukur Tanah. Yogyakarta,* Penerbit Kanisius, 1985.

INDEKS

A
air laut rata-rata, 32
Alexandria, 18
Al Mannun, 19
Aswan, 18
azimut
- astronomis, 38
- geodetis, 38
- kompas, 164
- matahari, 70, 165, 167

B
Bagdad, 19
bagian derajat, 45
beda
- kontur, 60, 77, 130
- tinggi, 59, 103

Bomford, 22
Bowditch, 172
bujur, 22, 38, 46, 84
- ganda, 301

C
Canopus, 19
Cassini, 175
- Dominique, 20
- Jaques, 20

centering, 154, 160
centerline, 241
Clairout, 20
Collins, 177
cross hair, 30, 31, 113
cross section, 241
cuaca, 34

D
distorsi, 27
data
- pengambilan, 27, 192, 202
- pengolahan 34, 195, 206
- penyajian 42, 196, 208

deklinasi, 167
double
- leveling 120
- stand, 137

E
Eggert, 17
EDM, 82, 83, 85, 86
electrostatic distance meter, 28
ell, 20
ellipsoid, 35, 36, 40, 45
Eratosthenes, 17
error
- accidental, 41, 49
- gross 41, 49, 94
- personal 34, 51
- random, 135
- systematic 41, 49
- truncation, 47

eyepiece, 30

F
faktor scale, 44
fokus, 30, 51

G
galian, 241
Gauss, 20, 23
gaya
- berat, 35
- endogen, 21, 104
- eksogen, 21, 104
- gravitasi, 32, 33

garis
- bidik, 51, 158
- kontur, 131

geoid, 155
geometri
- lengkungan, 256
- prinsip, 85

GMT, 167
Grimaldi, 20

H
Heiskannen, 21

I
Iskandariah, 18
interpolasi, 120
isi, 241-244

J
Jordan, 17
juru ukur, 34
jarak
- mendatar, 56, 81
- miring, 56
- sferis, 39
- vertikal, 81
- tali busur, 260

K
Kerangka
- dasar, 23, 68
- horizontal, 68
- vertikal, 68

kelengkungan bumi, 145
Kern, 116
kesalahan,
- acak, 140
- alam, 183
- alat, 181-182
- blunder, 94
- garis bidik, 138
- graduasi lingkaran, 182
- jarak, 94
- kelengkungan pita, 98
- lingkaran terungkit, 181
- misalignment, 94
- pengukur, 99, 183
- pengukuran, 94, 111, 135-145, 180
- pusat lingkaran, 182
- skala rambu, 140
- standarisasi, 95
- suhu udara, 96
- tegangan pita, 97
- titik nol rambu, 140

Knissel, 17
Koesdiono, 39
kolimasi, 143
Konvergensi meridian, 44, 46, 47
koreksi
- absis, 172
- arah, 45
- jurusan, 45
- kemiringan 98
- koordinat, 171
- muai pita, 96
- ordinat, 172
- paralaks, 31, 51
- sudut, 169

L
Lahire, 20
langkah, 183
Laplace, 20, 37, 38
Legendre, 20
lengkungan
- desain, 262
- jarak luar, 260
- horizontal, 262
- panjang, 259
- tali busur, 260
- tembereng, 260
- unsur, 258
- vertikal, 263

lensa, 29, 30, 31
level
- automatic, 104, 107, 144
- dumpy, 104, 142
- tiga seksi, 237
- tilting, 104, 106, 118, 144

lintang, 22, 38
London, 20
loxodrome, 47
luas, 57, 220, 228, 234, 236

M
mean sea level, 36, 52
medan oravitasi, 22

N
Newton, 25
Nikon, 109
nivo
- Horrebow, 33
- kotak, 33, 107
- tabung, 33, 107
- tunggang, 33

O
otomatik, 21
offset, 93, 221, 275, 281

P
pematokan, 268
- batas, 17
- garis singgung, 273
- jalur, 269
- lengkungan, 273
- parabola, 292
- penggambaran, 76, 125
- sumbu rencana, 271
- titik, 269

pemetaan
- linier, 191-197
- situasi dan detail, 201-215

penggambaran
- detail, 76, 197
- garis kontur, 77, 211
- sipat datar luas, 134
- sipat datar profil, 125, 130

penggal lingkaran, 17
pengukuran
- azimut 164
- beda tinggi, 102, 204
- jarak, 86
- detail, 202, 204
- EDM, 93
- kerangka, 202, 204
- kontrol, 70
- poligon, 167
- sudut vertikal, 163

peta
- indeks, 213
- konsep, 22
- pemakai 11, 12
- pembuat, 11, 12
- revisi, 23
- proyeksi, 42, 43, 53
- simbol, 49

Picard, J., 20
pilar, 111
pita ukur, 85, 91
planimeter, 230, 233
planimetris, 229
plotting
- data, 219
- titik detail, 209

poligon, 70
- terbuka, 168
- tertutup, 168

potongan
- melintang, 126
- memanjang, 122, 123
- sederhana, 237

Posidoinus, 19
prisma, 85, 92
proyeksi
- equidistant, 43, 46, 47, 53
- equivalent, 44
- konform, 43
- Mercator, 45, 47, 51
- Polieder, 46, 53

R
radial, 39
rambu ukur, 109
rantai ukur, 91
reduksi
- ukuran 35

referensi
- bidang datar, 37, 39
- bola, 37, 39
- ellipsoid, 36, 37, 43
- hitungan, 35, 36, 43
- pemetaan, 194
- ukuran, 35

refleksi, 28, 30
reticule, 311
reiterasi, 161
repetisi, 162
Rhodes, 19
Riccoli, 20
route, 117, 122, 130, 133

S
salah
- indeks, 159
- paralaks, 31

satuan
- skala
- nivo

sekrup penyetel, 165
sipat datar
- luas, 112, 131
- memanjang, 112, 113
- profil, 112, 121
- resiprokal, 112, 117

sistem koordinat
- dunia, 62
- geografis, 21, 84
- lokal, 62
- Nasional, 62
- polar, 58
- regional, 62
- kartesis, 21, 26, 44

Simpson, 225, 229, 233, 245
Sinaga, I., 25, 39, 110

skala
– nivo, 33
– horizontal, 130
– peta, 59
– vertikal, 130
slag, 113
Snell, W, 20
Soenarjo, J. 23, 37, 43
stadia, 18
stake out, 217, 255
sudut
– mendatar 58
– jurusan, 58
– vertikal, 58
suhu udara, 96
sumbu
– alat 155, 156
– optis, 51
surveyor, 11
Syene, lihat Aswan

T
tachimetri, 152
teropong, 30, 31, 106, 107
theodolite, 93, 153, 154
timbunan, 241
titik
– awal (fundamental), 55, 202
– datum, 55
– detai .. 74, 194, 208
– ikat, 55, 78
tongkat ukur, 17
tribrach, 104, 105
tripod, 105
true scale, 44

U
unsur gambar, 82
Umaryono, 43

V
Vening-Meinesz, 21
vizier, 31
volume, 245-250

W
warna, 203
waterpas, 104
WIB, 167

Y
yalon 85, 86, 89
York, 20

Z
zenith, 165
Zinjar, 19

05 JUN 2006
19 JUN 2006
Proyek Pembinaan Perpustakaan
Jawa Timur
T. A. 1997 / 1998

Indra Sinaga, dilahirkan di Siak tanggal 7 April 1944. Setelah menyelesaikan studi Teknik Geodesi di ITB pada tahun 1975, ia mengikuti pendidikan *Surveying Science* di University of The New South Wales pada tahun 1981, yang kemudian dilanjutkan mengikuti program pendidikan Pasca Sarjana (S3) Teknologi Pendidikan di IKIP, Jakarta.

Di samping mengajar di ITB sejak tahun 1973 sampai tahun 1985, juga mengajar di Fakultas Ekonomi Universitas Trisaksi, Jakarta, dari tahun 1985 sampai tahun 1986 ; di ISTN pada jurusan Teknik Sipil dan Teknik Arsitektur dari tahun 1983 sampai sekarang; di Institut Teknologi Indonesia (ITI) dari tahun 1985 sampai sekarang, di Fakultas Teknik Universitas Indonesia (UI) dari tahun 1987 sampai sekarang.

Banyak sudah proyek pemetaan dan survei daerah di Indonesia yang ditanganinya. Buah pikirannya sudah dipublikasi baik dalam lectures note ITB untuk mata kuliah Astronomi Geodesi, Proyeksi Peta dan Hitung Perataan serta dalam bentuk laporan,atau makalah pada seminar-seminar yang ia ikuti baik di dalam maupun di luar negeri; juga dalam bentuk buku [illegible] *Teori dan Praktek Pengukuran Tanah dan Pemetaan*, [illegible] Jakarta [illegible]

123.702/PD/P/97
729
SIN SINAGA, Indra
p Pengukuran dan pemetaan ...